

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RONNIER FRATES ROHRICH

SISTEMA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA OPERAÇÃO DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO LÓGICA NEBULOSA

CURITIBA

2013

RONNIER FRATES ROHRICH

SISTEMA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA OPERAÇÃO DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO LÓGICA NEBULOSA

Plano de Dissertação apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Prof. Alessandro Zimmer

CURITIBA

2013

R739s Rohrich, Ronnier Frates
Sistema de apoio à tomada de decisão na operação de pequenas centrais hidrelétricas utilizando lógica nebulosa. [manuscrito] / Ronnier Frates Rohrich. – Curitiba, 2013.
115f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, 2013.

Orientador: Alessandro Zimmer.
Bibliografia: p. 93-98.

1. Usinas Hidrelétricas. 2. Lógica nebulosa. I. Universidade Federal do Paraná. II. Zimmer, Alessandro. III. Farina, Luciana. IV. Título.

CDD: 621.31

TERMO DE APROVAÇÃO

RONNIER FRATES ROHRICH

SISTEMA DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA OPERAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UTILIZANDO LÓGICA NEBULOSA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Zimmer

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Gideon Villar Leandro

Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Edson Emílio Scalabrin

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR

Curitiba, 29 de agosto de 2013.

“Nunca rezes suplicando cargas mais leves, mas sim ombros mais fortes”.
(Philips Brook)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Alessandro Zimmer, por possibilitar que o meu projeto se tornasse realidade, ajudando sempre que precisava.

Aos operadores da Pequena Central Hidrelétrica em estudo, pelo auxílio à minha pesquisa e aconselhamento técnico nos diversos assuntos do trabalho.

Às diversas pessoas as quais eu recorri em busca de informações técnicas a respeito do assunto me auxiliando no desenvolvimento deste trabalho.

E um agradecimento mais do que merecido a minha família, esposa e amigos, que me apoiaram durante o período de elaboração deste trabalho, compreendendo minhas ausências e motivando-me a dar o melhor de mim para essa etapa final da pós-graduação em engenharia elétrica.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo, apresentar um sistema de apoio à decisão que auxilie a operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Para este fim foi desenvolvido um controlador nebuloso que sugere uma regulação da potência de saída dos geradores de uma PCH, se baseando no comportamento de um conjunto de cinco variáveis de entrada. A seleção destas variáveis, bem como a avaliação de desempenho do sistema foi feita por meio da utilização de dados reais da operação de uma Pequena Central Hidrelétrica e pesquisas relacionadas aos trabalhos que já haviam sido desenvolvidos sobre esse tema. O trabalho também quantifica o conhecimento especialista fornecido por operadores experientes de centrais hidrelétricas, podendo ser observado nas regras implantadas na modelagem do sistema de apoio à tomada de decisão. A base de dados foi coletada por meio de pesquisas de campo realizadas no período de desenvolvimento da dissertação e alimentado até completar a quantidade de amostras consideradas essenciais para o estudo. A grande quantidade de Pequenas Centrais Hidrelétricas hoje em operação no Brasil, aliadas a escassa bibliografia nacional relacionada a este tema, despertou o interesse em se realizar esse estudo, tendo em vista o crescimento que o Brasil está vivendo atualmente e que exigirá uma maior oferta de energia de qualidade nos próximos anos. O consumo anual de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2007 e 2011 foi de 377.030GWh para 433.034GWh, resultando em um aumento maior que 14% segundo o Anuário estatístico de energia elétrica 2012 publicado pela Empresa de pesquisa energética (EPE). Quando comparado o consumo de energia elétrica ocorrido entre o primeiro semestre de 2012 e o de 2013 também é possível verificar um aumento superior a 2,8%. Os resultados desse trabalho foram promissores, pois se obteve uma energia gerada acima do valor real observado ao longo do ano de estudo.

Palavras-chave: Pequena Central Hidrelétrica, sistema de apoio a tomada de decisão, lógica nebulosa.

ABSTRACT

The aim of this work is to present a system that supports decision making to assist the operation of small hydroelectricplants (SHP). Therefore, we developed a fuzzy controller that suggests a regulation of the output power from generators of a SHP based on the behavior of a set of five input variables. The selection of these variables and the performance evaluation of the system were made using one SHP operational data and researches related to studies that had already been developed regarding this topic. The work also quantifies the expert knowledge provided by SHP experienced operators. This knowledge was used in the rules implemented in the modeling of the support system for decision making. The database was collected through field research, which was carried out during the development of this study and was fed until the number of samples considered essential was reached. There is a significant amount of small **hydroelectric** plants in operation in Brazil and scarce literature related to this theme. Thus, there is a great interest in carrying out this study, considering the growth that Brazil is currently going through and that will require a great supply of power in the coming years. The annual consumption of electricity in Brazil between 2007 and 2011 increased from 377.030 GWh to 433.034GWh, resulting in an increment greater than 14% according to the Statistical Yearbook of electricity in 2012, published by the Energy Research Company (EPE). When comparing electricity consumption occurred between the first semester of 2012 and the same period of time of 2013, it is also possible to observe an increase of more than 2.8%. The results were promising, because they got an energy generated above the actual value observed during the study year.

Keywords: small **hydroelectric** plant, support system for decision making, fuzzy logic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. – Fluxograma para determinação da modalidade que uma usina hidrelétrica se encontra.	16
Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.	17
Figura 3 - Potencial hidrelétrico brasileiro.	26
Figura 4 -Evolução da concentração das usinas hidrelétricas no Brasil (1950 a 2000).	27
Figura 5 -Empreendimentos em Operação no Brasil.	29
Figura 6 -Diagrama para determinação das turbinas em PCHs.....	33
Figura 7 -Rotor e as pás de uma Turbina Francis.	35
Figura 8 - Gerador de uma PCH.	38
Figura 9 -Característica isócrona do RV.	39
Figura 10 -Diagrama esquemático do Regulador Isócrono	40
Figura 11 - Diagrama Esquemático do Regulador com Queda de Velocidade.	41
Figura 12 -Diagrama de blocos com realimentação.	41
Figura 13 - Exemplos de diferentes tipos de cruzamentos.....	53
Figura 14 - Exemplo de um cruzamento uniforme.....	54
Figura 15 - Mutação de dois indivíduos.....	54
Figura 16. Fluxograma de implantação da metodologia para uma PCH qualquer	57
Figura 17. Principais Sistemas da Pequena Central Hidrelétrica em estudo, situada no Rio Chapecó – SC – Brasil.....	59
Figura 18. Curva de Descarga do Vertedouro.....	62
Figura 19. Histórico da média anual das vazões do Rio Chapecó	63
Figura 20. Histórico da média mensal das vazões do Rio Chapecó	63
Figura 21 - Relação entre a Potência selecionada pelo operador e Nível do reservatório considerando todas as amostras da dissertação	67
Figura 23. Diagrama de Colina real da PCH em estudo	69
Figura 24. Nível do Reservatório.....	75
Figura 25. Nível do Canal de Fuga.....	76
Figura 26. Queda Líquida.....	76
Figura 27. Variação no Nível do Reservatório.....	77
Figura 28. Vazão Afluente.....	78
Figura 29. Potência Selecionada através do Controlador Nebuloso	79
Figura 30 - Variação máxima ocorrida para todos os parâmetros de todas as funções de pertinência.....	83
Figura 31 - Conversão dos parâmetros das funções de pertinência.	84
Figura 32. Potências Selecionadas pelo Controlador Nebuloso.....	86
Figura 33. Potência Real Selecionada pelo Operador e Potência Nebulosa sugerida pelo Controlador.....	87
Figura 34. Diferença entre a Potência Selecionada pelo Operador e a Potência Selecionada pelo Controlador Nebuloso	88
Figura 35 - Geração de energia final após a otimização das funções de pertinência. ...	89
Figura 36 - Variação percentual de cada variável	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz de Correlação	65
Tabela 2. Parcela das questões realizadas com os operadores da PCH em estudo	71
Tabela 3. Continuação da Tabela 2	72
Tabela 4. Apresentação dos dados durante a operação em tempo real no período de 90 dias.....	73
Tabela 5. Primeiro Conjunto de Regras	79
Tabela 6. Segundo Conjunto de Regras	80
Tabela 7. Terceiro Conjunto de Regras	80
Tabela 8. Quarto Conjunto de Regras.....	80
Tabela 9. Representação das variáveis e dos patamares de entrada do controlador nebuloso.....	81
Tabela 10. Variáveis de saída e patamares do controlador nebuloso.....	82

LISTA DE SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	- Agência Nacional do Petróleo
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CCEE	- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia
ELEKTROBRÁS	- Centrais Elétricas do Brasil S.A.
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MME	- Ministério de Minas e Energia
MRE	- Mercado de Realocação de Energia
ONS	- Operador Nacional do Sistema
PID	- Proporcional Integral Derivativo
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PROINFA	- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
RV	- Regulador de Velocidade
SAD	- Sistema de Apoio à Decisão
SDE	- Secretaria de Direito Econômico
SDP	- <i>Stochastic Dynamic Programming</i>
SEAE	- Secretaria de Acompanhamento Econômico
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SPD	- Programação Dinâmica Estocástica
UHE	- Usina Hidrelétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

A	-	Área do reservatório
P	-	Potência elétrica instalada
H _b	-	Queda bruta
N _I	-	Queda líquida
D _e	-	Diâmetro de entrada da turbina
D _{ts}	-	Diâmetro do tubo de sucção
D	-	Diâmetro do conduto forçado
p	-	Pressão de entrada da turbina
Ph	-	Potência hidráulica
PI	-	Potência líquida
ρ	-	Massa específica da água
Q _f	-	Vazão de água do conduto forçado
z	-	Diferença das cotas entre a entrada da turbina e o nível a jusante
v	-	Velocidade da água
P _n	-	Potência Hidráulica fornecida a turbina
P _{ex}	-	Potência fornecida pelo eixo da turbina
η	-	Eficiência da turbina
P _g	-	Potência do gerador
P _t	-	Potência máxima no eixo da turbina
η_g	-	Rendimento do gerador
f _p	-	Fator de potência do gerador
R	-	Regulação de velocidade
ω_{NL}	-	Velocidade da turbina em regime permanente sem carga
ω_{FI}	-	Velocidade da turbina em regime em plena carga

ω_0	-	Velocidade nominal da turbina
p_{cf}	-	Perda na geração devido à elevação no nível do canal de fuga
η_{tg}	-	Rendimento do conjunto turbina gerador
q_n	-	Vazão turbinada total da usina
q_{min}	-	Vazão mínima turbinada
p_h	-	Perda de geração pelo atrito nos condutos forçados e túnel de adução
h_p	-	Perda hidráulica
p_r	-	Perda por variação de rendimento do conjunto Turbina/Gerador

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
INTRODUÇÃO	14
1.1 IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivos específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
CAPÍTULO 2	21
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONCEITOS INTRODUTÓRIOS	25
2.1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS NO BRASIL	25
2.1.3 CONCEITOS GERAIS DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA	28
2.1.3 REGULAMENTAÇÃO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	30
2.2 FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DE UMA PCH	31
2.2.1 Queda Líquida	31
2.2.2 Turbinas	32
2.2.2.1 Turbinas Francis	34
2.2.3 Diagrama de colina	35
2.2.4 Gerador	36
2.2.5 Regulador de velocidade	38
2.2.5.1 RV Isócrono	39
2.2.5.2 RV com estatismo permanente	40
2.2.5.3 RV Hidráulico	42
2.3 Variáveis de Desempenho em uma PCH	43
2.4 PROCEDIMENTOS DE REDE	46
2.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	47
2.5.1 Lógica Nebulosa	48
2.6 SISTEMAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO	50
2.7 ALGORITMO GENÉTICO	51
CAPÍTULO 3	56

METODOLOGIA.....	56
CAPÍTULO 4	58
ESTUDO DE CASO	58
4.1 BASE DE DADOS.....	60
CAPÍTULO 5	64
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO CONTROLE NEBULOSO.....	64
5.1 SIMULAÇÕES.....	74
5.1.1 Variáveis de Entrada:	74
5.1.2 Variável de Saída	78
5.2 OTIMIZAÇÃO DO CONTROLADOR NEBULOSO	82
CAPÍTULO 6	86
ANALISE DOS RESULTADOS	86
CAPÍTULO 7	91
CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	91
REFERÊNCIAS.....	93
ANEXO A – Currículos dos operadores entrevistados	99

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO

O aumento da demanda de energia apresentado no Brasil nos últimos anos, é reflexo do desenvolvimento que o país está vivendo. A necessidade de aumentar o fornecimento de energia utilizando fontes renováveis é imperativa, devido aos apelos da mídia, órgãos ambientais e da sociedade. A alternativa proposta neste trabalho, para o incremento na parcela de energia elétrica injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN), corrobora com o conceito de uma operação mais eficiente dos empreendimentos conhecidos como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), promovendo uma alternativa que contribui com o bem estar da população e ajuda o governo brasileiro a planejar de forma mais eficaz o crescimento da potência instalada do país.

Devidos às suas características, as Pequenas Centrais Hidrelétricas podem ser atraentes para investimentos públicos e privados. O período pequeno de construção, alagamento de pequenas áreas, regulamentação mais simplificada quando comparada a usinas hidrelétricas de grande porte, tendem a não sofrer uma forte resistência dos órgãos ambientais que analisam os impactos causados a fauna e flora dos locais atingidos pelos reservatórios. Em termos gerais, a PCH é um empreendimento que possui uma potência instalada superior a 1MW e inferior a 30MW e com a área do reservatório igual ou inferior a três quilômetros quadrados. Acima desses patamares, os empreendimentos são considerados Usinas Hidrelétricas.

O sistema elétrico brasileiro é operado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que possui como principal função, realizar o despacho de energia das principais centrais elétricas do Brasil, garantindo o fornecimento de energia elétrica para todo o território nacional. Para o pleno desenvolvimento de suas atividades o ONS necessita planejar todo o seu despacho de energia, assim, quando as regiões em que a disponibilidade de energia está abaixo da necessidade solicitada pelos consumidores, tal região poderá ser beneficiada pela energia de outra região. Perante o ONS, as

usinas, são classificadas em três modalidades diferentes, TIPO I, TIPO II, TIPO III, devido à influência que cada uma atinge o sistema (ONS, 2013).

As usinas TIPO I são as conectadas diretamente na rede básica (rede em que a tensão de transmissão é superior a 230kV, com exceção dos casos excepcionais considerados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e por proposição do NOS), sendo irrelevante a potência fornecida pela usina. No entanto, a sua operação continua influenciando na proteção e operação do sistema. TIPO II são usinas que se caracterizam diferentes em relação ao TIPO I, mas que afetam todo o processo de planejamento e programação da operação em tempo real, sendo relevante também para a pré-operação e pós-operação (ONS, 2013). Já as usinas TIPO III, são todas as outras que não possuem as características das anteriores, ou seja, o despacho dessas não afetará de maneira contundente o Sistema Interligado Nacional (SIN), nem a operação das usinas despachadas pelo ONS. Diferentes das grandes usinas hidrelétricas, as PCHs não têm a sua energia despachada pelo ONS, ficando passível a realização de uma operação com um melhor custo-benefício ao dono da concessão e elas são normalmente enquadradas em usinas do TIPO III, porém dependendo da localização podem ser do TIPO II. O fluxograma que determina a modalidade que um empreendimento hidrelétrico se encontra está representado na Figura 1.

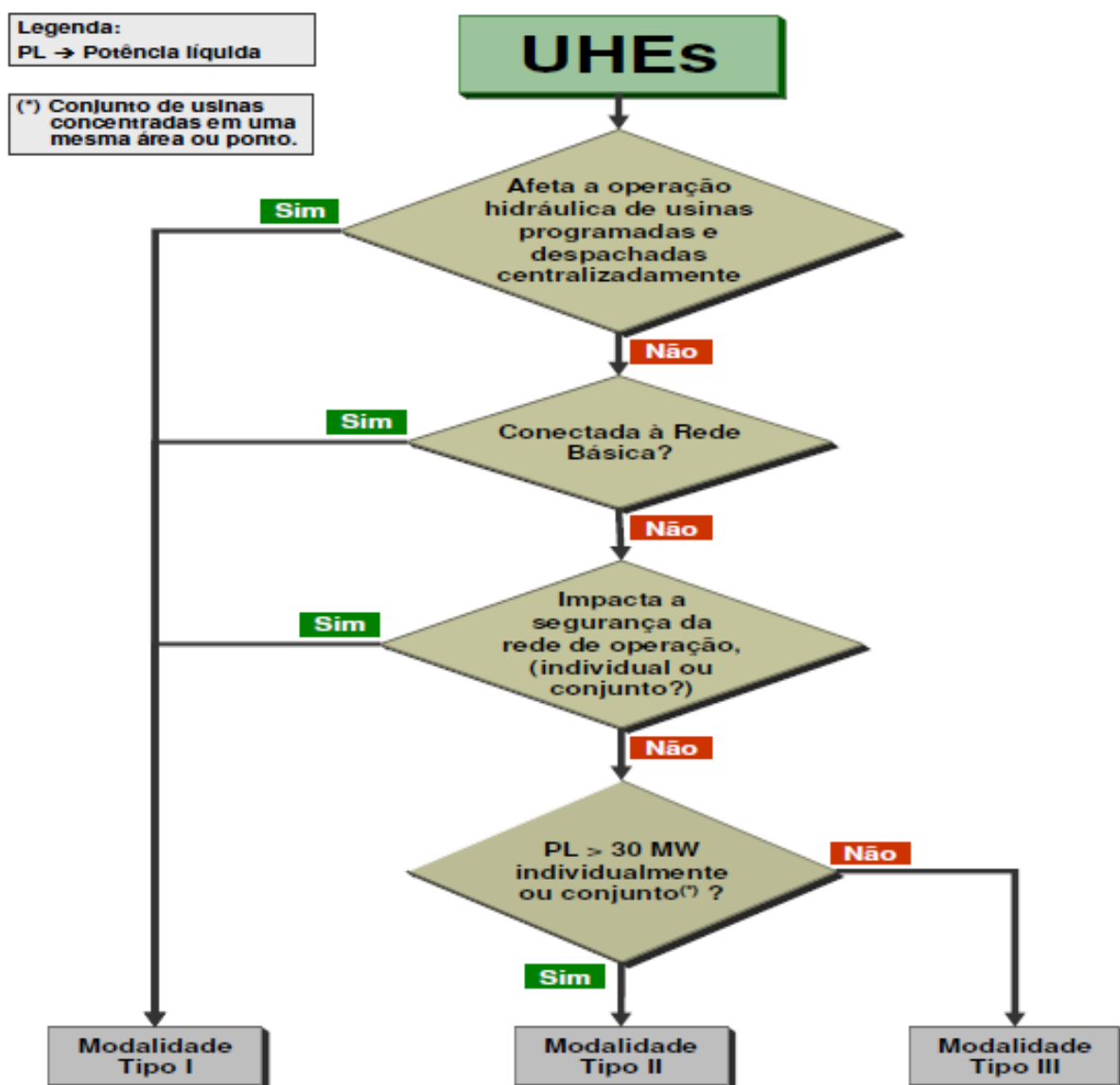


Figura 1. – Fluxograma para determinação da modalidade que uma usina hidrelétrica se encontra.

Fonte: ONS, 2012.

Existem inúmeras variáveis que determinam a maneira empírica de como é realizada a operação de uma central hidrelétrica associada ao conhecimento de quem as opera. Dentre algumas delas podem-se citar o nível do reservatório, vazão afluente, vazão efluente, vazão turbinada pelas Unidades Geradoras, curva de colina das turbinas, nível do canal de fuga e pluviometria. A partir desses dados, são definidos os patamares de geração que cada unidade de uma PCH deverá atingir no decorrer de um dia.

Será apresentada uma metodologia que objetiva a otimização dos processos de parametrização das variáveis citadas anteriormente, com o intuito de fornecer energia elétrica de uma maneira mais eficiente à população. A possibilidade da realização de uma operação mais inteligente, desvinculando a dependência dos especialistas da área para a passagem do conhecimento a novos trabalhadores do setor incrementou os objetivos do trabalho. Para tal, todas as resoluções e normativas dos órgãos regulamentadores do setor elétrico, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), patamares de geração previstos e fiscalizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) que recebem os dados de geração de cada PCH e os contabilizam para fins de faturamento, deverão ser respeitadas. Esses órgãos possuem uma hierarquia perante o arranjo governamental do Brasil que pode ser observado na Figura 2.

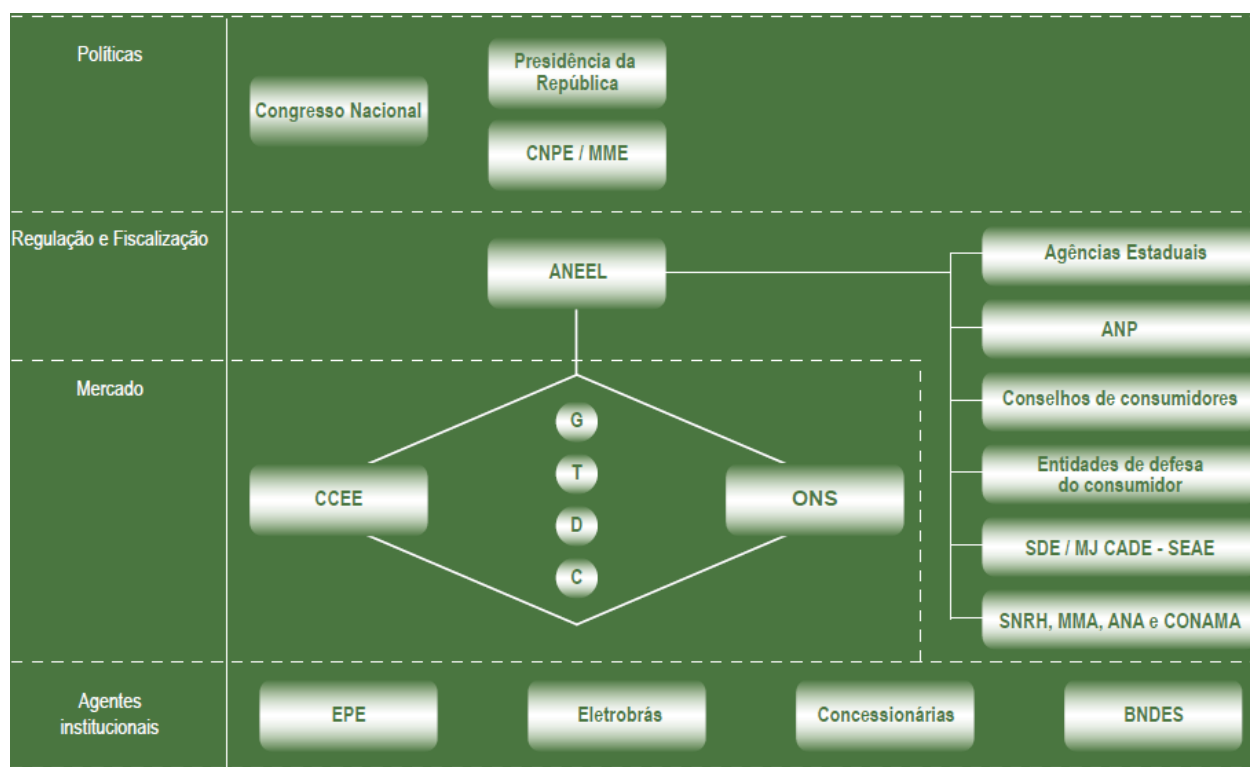


Figura 2 – Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.

Fonte: ANEEL, 2012

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo elaborar um sistema de apoio à tomada de decisão que auxiliará operadores de Pequenas Centrais Hidrelétricas a selecionar uma potência mais adequada que a unidade geradora deverá atingir, utilizando como base a amostragem de diversas variáveis encontradas na central geradora de energia elétrica. Com isto espera-se uma operação mais estável e com uma quantidade maior de energia gerada, sem que haja a necessidade de investimento na aquisição de novos equipamentos.

1.2.1 Objetivos específicos

O desenvolvimento deste trabalho pode ser subdividido em algumas etapas, entre as quais podemos mencionar:

- Utilizar conceitos de inteligência artificial capazes de auxiliar no desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão;
- Elaborar uma base de dados que contemple as variáveis necessárias para resultados coerentes e que possua uma abrangência de todas as épocas do ano, possibilitando uma análise das influências climáticas na operação;
- Elaborar uma metodologia para avaliação e implantação do sistema de apoio à tomada de decisão em uma pequena central hidrelétrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

A elaboração deste sistema de apoio é parte integrante da busca contínua do aperfeiçoamento de métodos já utilizados, buscando uma contribuição no âmbito de programas de expansão da Matriz Energética brasileira, oferecendo também

alternativas para PCHs que se encontram em operação de obter uma energia gerada maior, evitando assim problemas regulatórios e financeiros.

Estão em operação hoje no Brasil 433 PCHs, correspondendo a 3,3% da Potência Instalada no país, totalizando 4,3GW (ANEEL, 2013). No entanto, muitas delas são operadas de maneira empírica, utilizando apenas o estado atual das variáveis primordiais que influenciam a filosofia de operação em cada uma delas. Além disso, muitas mudanças ocorreram na legislação das PCHs desde que foram construídas. Evitar possíveis penalidades impostas pela CCEE devido a não geração de energia, pois é de fundamental importância para o empreendedor que a energia assegurada de cada PCH seja cumprida todos anos.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi dividida em 7 capítulos para estruturar de uma maneira mais coesa os diferentes assuntos abordados. A estrutura ficou da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – Introdução: Aspectos gerais da situação da Matriz Energética brasileira, evidenciando as PCHs no Brasil, apresentação inicial dos objetivos propostos no trabalho, justificando o interesse em seu desenvolvimento;
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica e conceitos introdutórios: Descreve resumidamente as teses, dissertação e artigos estudados para o embasamento científico do trabalho. A conceituação dos aspectos gerais de uma PCH também são abordados nesse capítulo, descrevendo a regulamentação e a legislação em vigência, explanação dos sistemas de fundamental importância para o planejamento e operação de uma PCH, apresentação de algumas ferramentas utilizadas para a modelagem do sistema e alguns procedimentos de rede adotados pelo ONS;

- Capítulo 3 – Metodologia: São estabelecidos os critérios e as etapas pelas quais se devem avaliar a possibilidade de se implantar os estudos para um sistema de apoio em qualquer Pequena Central Hidrelétrica;
- Capítulo 4 – Estudo de caso: Apresentação das características do empreendimento estudado, descrição dos procedimentos executados para criação e definição da base de dados a ser utilizada e apresentação das variáveis que a compõe;
- Capítulo 5 – Modelagem e simulação do sistema de apoio à tomada de decisão: Análises específicas que foram realizadas, a fim de verificar relações de pertinência. Descrição das simulações desenvolvidas, incluindo a criação da base de regras do controlador nebuloso e otimização as funções de pertinência do controlador nebuloso via algoritmo genético;
- Capítulo 6 – Análise dos resultados: Verificação dos resultados obtidos após todas as simulações executadas, considerações sobre a eficiência da metodologia desenvolvida;
- Capítulo 7 – Conclusão e trabalhos futuros: Observações finais referentes à metodologia desenvolvida para o sistema de apoio à tomada de decisão e referências aos possíveis métodos complementares de serem aplicados no aperfeiçoamento da operação em Pequenas Centrais Hidrelétricas, utilizando outros métodos de inteligência artificial e análise de desempenho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo anterior foram apresentadas as motivações, objetivos, justificativas e estrutura que o trabalho teve. Neste capítulo será apresentados os principais, artigos, dissertações e teses que embasaram cientificamente esta pesquisa e alguns conceitos referentes os empreendimentos hidrelétricos no Brasil, bem como alguns conceitos essenciais para a compreensão da dissertação.

Na área da energia elétrica, especificamente dentro da operação das PCHs existem muitos assuntos que podem ser relevantes para a sociedade, pois o produto final das PCHs é uma das maiores descobertas do homem contemporâneo, a energia elétrica. Visando uma abordagem sistêmica das PCHs, se realizaram pesquisas em diversas áreas que contemplam esses empreendimentos.

A operação de centrais hidrelétricas de pequeno porte ganhou maior relevância no cenário brasileiro a partir dos anos 80, quando se intensificaram incentivos do governo e estudos destes aproveitamentos. Com isso, as Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás) em 1985, descreveram, um dos primeiros manuais referentes a centrais hidrelétricas de pequeno porte. Informações de cunho técnico e econômico foram descritas neste documento. Atualmente o documento utilizado como referência para novos projetos de PCHs é “Diretriz para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas” (ELETROBRÁS, 2000).

Uma importante entidade criada em 1998 no Brasil foi o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que não possui fins lucrativos e tem como responsabilidade a coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica, e que também desenvolve um trabalho de caráter normativo com o objetivo de melhorar e garantir o fornecimento de energia elétrica do Brasil. Essa entidade desenvolveu ao longo dos anos uma série de medidas que atualmente devem ser seguidas por todos os produtores de energia elétrica, resultando um documento extenso intitulado Procedimentos de Rede.

Os aspectos regulatórios que devem ser de domínio total do empreendedor das pequenas centrais hidrelétricas estão relacionados com a ANEEL, MME, CCEE, ANA, ONS e os órgãos ambientais de cada região onde as PCHs estão localizadas. A evolução histórica dos conceitos das Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil, retratando a evolução da potência instalada das PCHs no cenário nacional e dos programas de incentivo do governo (TIAGO, 2006). Foram estabelecidos os procedimentos regulatórios adotados no Brasil a partir da década de 80, com um enfoque na geração descentralizada (NASCIMENTO, 1999; ZULCY, 2005).

Foram observados diferentes tipos de reservatórios na década de 80 para encontrar soluções práticas e embasadas cientificamente, pois os progressos nessa área estavam muito lentos. Foi elaborado um estudo sobre o estado da arte que contém modelos matemáticos desenvolvidos para a operação de reservatórios em diferentes aplicações (YEH, 1985).

Sistemas de suporte a tomada de decisão onde o foco é o planejamento e a programação de sistemas hidrotérmicos já foram realizados (CICOGNA, 2003). Nesse trabalho o autor descreve como sistemas de suporte a tomada de decisão podem ser valiosos na área de operação de usinas hidrelétricas e térmicas. Uma base de dados composta por usinas que têm a sua energia despachada pelo ONS, sendo que as ferramentas de decisão dessa tese são divididas em três categorias: otimização, previsão e simulação. Outros trabalhos incrementaram a tese que tem como objetivo também a teoria da decisão aplicada ao planejamento da operação do sistema hidrotérmico brasileiro incorporando as preferências do decisor a esse problema (DUARTE, 2012). Os resultados foram obtidos por meio da aplicação de um protocolo específico a diversos técnicos e profissionais do setor elétrico.

A otimização da operação e gestão de reservatórios relacionados a centrais hidrelétricas é uma das mais antigas aplicações de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) (DIAKOULAKI, 2005). Além disso, divergências naturais destes problemas são resultados da competição entre as unidades operadoras, na mesma base, e de eventuais usos destinados a outras questões, tais como: vazão afluente mínima, irrigação e agricultura, uso doméstico e industrial, sustentabilidade ecológica e proteção de espécies.

A dificuldade em se operar uma Pequena Central Hidrelétrica de maneira adequada por meio de um controle de nível de água com realimentação, devido a não linearidade das variáveis envolvidas no estudo (NIIMURA; YOKOYAMA, 1995). Justificando assim a melhor adaptação que a lógica nebulosa possui para o controle de nível de reservatório. Fato comprovado por meio das simulações e dos resultados obtidos neste trabalho, pois segundo os autores um controlador proporcional integral derivativo (PID) não faz sentido para esses tipos de ajuste que são determinados empiricamente. A manutenção do nível do reservatório em patamares delimitados pelo sistema, enquanto outros objetivos operacionais mantiveram-se adequados, consolidam os resultados obtidos nessa pesquisa. Eles salientam aspectos como, a utilização deste método com produtores independentes que buscam evitar paradas desnecessárias de máquina contribuindo com o aumento da vida útil dos equipamentos e da produtividade de energia elétrica. A modelagem do sistema considera as variáveis de entrada como o nível do reservatório, a variação do nível do reservatório e a variável de saída a abertura do distribuidor. Além disso, os índices de avaliação de desempenho do controlador são: o acúmulo de energia gerada e o não desperdício de água durante a geração. Embora esse trabalho apresente vários aspectos fundamentais na operação de uma PCH, existem outras abordagens sugeridas como linha de pesquisa.

Conjuntos de regras nebulosas baseadas em um modelo para operação de reservatórios de hidrelétricas (MOEINI, A. AFSHAR; M. AFSHAR, 2010). Inicialmente os autores salientam a necessidade do desenvolvimento de ferramentas que contribuam com a os processos de decisões operacionais necessárias a um bom gerenciamento de água dos reservatórios de hidrelétricas. Esses fatores mencionados, atrelados a estocasticidade das variáveis hidrológicas, motivam a utilização de modelos baseados em regras nebulosas para a operação de reservatórios. Afinal, Ratificando a possibilidade de utilizar o conhecimento especialista e oferece a oportunidade de participação dos operadores no desenvolvimento de um método nebuloso. Nesse trabalho é salientado que as regras nebulosas devem ser formuladas pelo histórico real da operação e o conhecimento especialista quando disponível. Porém, a indisponibilidade destas informações remeteu a utilização da *Stochastic Dynamic Programming* (SPD), no intuito de suprir as necessidades referente a falta do

conhecimento especialista. Utiliza essa metodologia para simular o desempenho do reservatório em um período de tempo previamente definido, podendo ser observado nos resultados esse método empregado.

Muitos pesquisadores atuaram em linhas de pesquisa desenvolvendo modelos de lógica nebulosa para o controle de reservatórios em hidrelétricas, a oportunidade de usufruir do conhecimento especialista humano para a modelagem de sistemas de apoio à tomada de decisão, justificam a aplicação do método de inteligência artificial nebuloso como sendo o mais adequado para este tipo de problema. Devido às características estocásticas que variáveis como vazão afluente e nível do reservatório possuem, onde a matemática clássica encontraria dificuldades para modelar. A compreensão de como as regras nebulosas poderiam ser aplicadas nas regras de operação de reservatórios em usinas hidrelétricas foram alguns objetivos estudados ao longo dos anos das pesquisas acadêmicas (RAMANI; TAMJIS, 2007). A falta do conhecimento especialista para formulação das regras refletiu na utilização da (SPD), que substitui o conhecimento especialista para a criação das regras nebulosas.

Além da aplicação no ramo da energia hidrelétrica é possível observar diversas outras aplicações do controle nebuloso na tomada de decisão em reservatórios que utilizam a água para irrigação, abastecimento de cidades com conceitos similares aos necessários para o desenvolvimento deste trabalho (PANIGRAHI; MUJUMDAR, 2000). Foi desenvolvido um modelo embasado na formulação de regras nebulosas para operação de um reservatório. Utilizou-se variáveis como vazão afluente, volume de água armazenada no reservatório, demanda de água e liberação de água para a construção das funções de pertinência e regras do controlador nebuloso. Diferente da dissertação em desenvolvimento, a falta de dados referente ao reservatório em estudo, gerou a necessidade da simulação de um reservatório para que pudessem ser formuladas as regras nebulosas. Também salientou-se que as variáveis de entrada do sistema nebuloso em desenvolvimento nesta dissertação não são de total equivalência.

Estudou-se uma estratégia para o ajuste automático das regras e das funções de pertinência utilizando Algoritmos Genéticos. Para tal, foi desenvolvido e implementado um algoritmo que transforma as regras e as funções de pertinências em cromossomos que são submetidos a uma evolução, cruzamento e mutação (OLIVEIRA,

2004). A ideia geral é obter uma nova família de regras e funções de pertinência. Semelhante ao que foi realizado na dissertação anterior, o objetivo deste trabalho será transformar as funções de pertinência do controlador nebuloso em cromossomos e assim desenvolver os procedimentos necessários para otimização via algoritmo genético.

Analogamente ao que foi proposto nesta dissertação dada a dificuldade na definição de alguns parâmetros dos controladores nebulosos, elaborou-se um procedimento utilizando Algoritmos Genéticos para otimizar o conjunto das funções de pertinência de um sistema nebuloso que possa melhor controlar um processo, otimizando o resultado final (MEDEIROS, MAITELLI; FILHO). Essa metodologia foi testada na simulação do controle da pressão arterial de um paciente.

Após finalizada a revisão bibliográfica e aproveitando-se de diferentes variáveis disponíveis para o desenvolvimento desta dissertação, foi possível estabelecer os critérios que esta pesquisa tratará.

2.1 CONCEITOS INTRODUTÓRIOS

Esta seção trata de explicar alguns aspectos históricos dos empreendimentos hidrelétricos do Brasil e os subsistemas de uma Pequena Central Hidrelétrica que são afetados diretamente pelo sistema de apoio à tomada de decisão proposto.

2.1.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS NO BRASIL

O Brasil encontra-se entre os cinco maiores produtores de energia hidrelétrica no mundo, assim como Canadá, China, Estados Unidos e Rússia. As bacias do Rio Paraná, São Francisco e Tocantins são responsáveis por quase 90% da capacidade hidrelétrica do país. O restante encontra-se nas bacias do Atlântico Norte/Nordeste e Amazonas.

Os baixos índices de aproveitamento na região da Bacia do Amazonas se devem ao tipo de relevo encontrado, onde predominam planícies e a grande distância dos grandes centros consumidores. Porém, na região que engloba o centro-sul do país, ocorreu um desenvolvimento econômico mais acelerado, que aliado ao relevo dessas regiões levou ao uso mais intensificado das hidrelétricas.

No período que antecede a 1945, os empreendimentos hidrelétricos no Brasil concentraram-se no sudeste. Entre 1945 e 1970, destacaram-se os estados do Paraná e Minas Gerais, com grandes empreendimentos, além do Nordeste brasileiro. Com o advento do desenvolvimento da tecnologia de transmissão de energia, entre a década de 70 e 80 ampliaram-se os horizontes da distribuição da energia gerada para maiores distâncias.

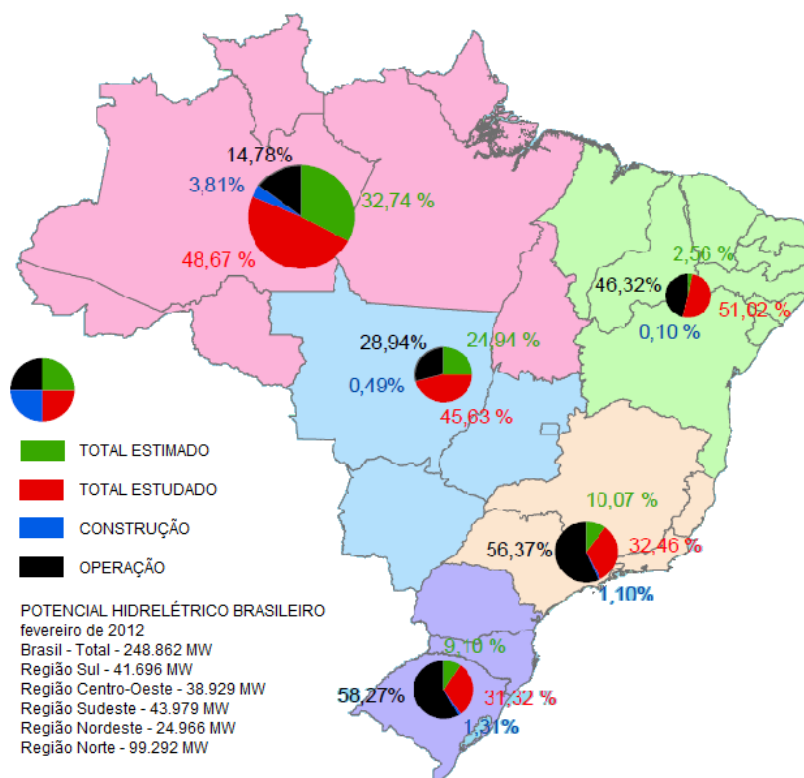


Figura 3 - Potencial hidrelétrico brasileiro.

FONTE:ELETROBRÁS 2012 - Modificada pelo autor 2013

Atualmente, a potência instalada, a estimativa da capacidade que cada região possui para produzir energia elétrica, o percentual dos empreendimentos em operação

e o total estudado do potencial elétrico de cada região, podem ser verificados na Figura 3.

A disparidade entre o potencial hidrelétrico aproveitado entre as diferentes regiões do Brasil, é evidente tanto na Figura 3 quanto na Figura 4. Na última se pode ter uma percepção de que a crescente demanda de energia elétrica na região sudeste ocasionou um investimento maior na construção das usinas hidrelétricas nesta região na década de 50. No final do século XX a descentralização desses empreendimentos já era evidente como mostra a Figura 4.

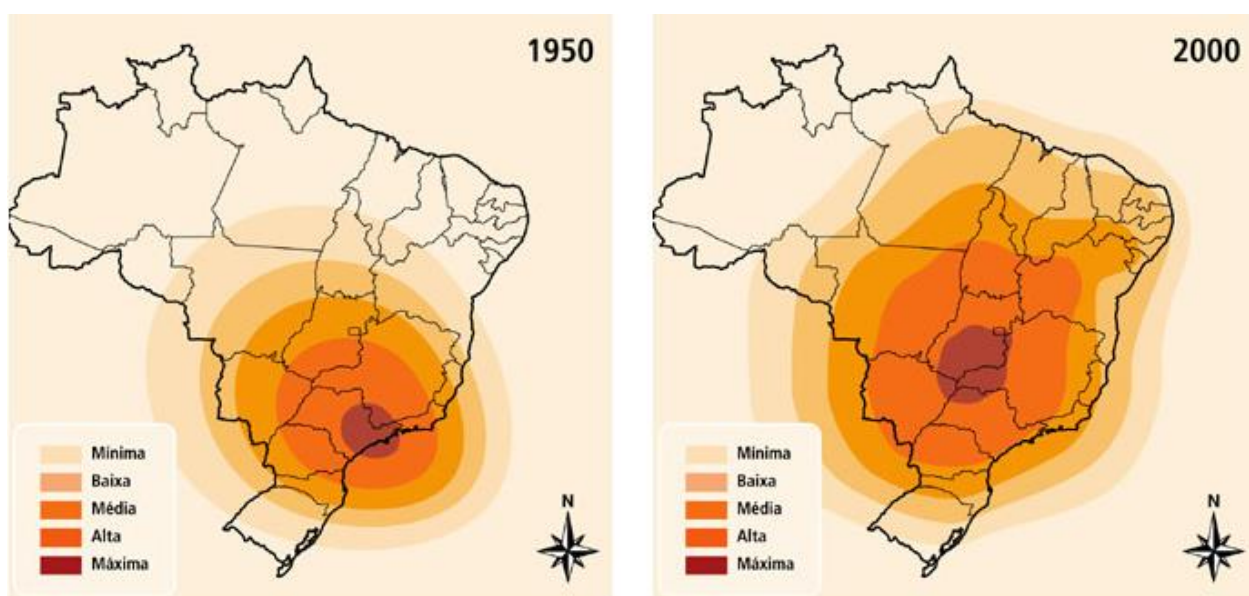


Figura 4 -Evolução da concentração das usinas hidrelétricas no Brasil (1950 a 2000).

FONTE: ELETROBRAS, 2003

Atualmente, por motivos políticos e baixo índice de aproveitamento da região Norte do Brasil, intensificaram-se os estudos e a viabilização de investimentos nesta região, podendo-se citar a UHE Belo Monte.

2.1.3 CONCEITOS GERAIS DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA

Historicamente, as características dos projetos e os procedimentos para se operar Pequenas Centrais Hidrelétricas vêm se adaptando na medida em que essa fonte alternativa de energia passou a ter uma maior significância no SIN. Uma evolução nos procedimentos regulatórios foi necessária, sendo alteradas algumas resoluções.

Em 1982 foi apresentado um manual elaborado em conjunto entre o Ministério de Minas e Energia (MME) e o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) que determinava as características das Pequenas Centrais Hidrelétricas. As informações contidas na portaria do (DNAEE nº. 109, de 24 novembro de 1982), foram alteradas.

Após a criação da ANEEL em 1996, toda a regulamentação do setor elétrico passou a ser de sua responsabilidade. Em 1998 foram revogadas as portarias referentes às Pequenas Centrais Hidrelétricas e instituída a Resolução nº 394 em 04 de Dezembro de 1998, que as enquadrava de acordo com as características a seguir.

- Potência Instalada que poderia variar entre 1MW e 30MW;
- Área total do reservatório limitada a no máximo 3,0km²;
- Cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de decorrência de 100 anos.

A definição de área do reservatório foi revisada no ano 2003, definindo que caso o limite de 3,0km² fosse excedido, ainda poderia ser considerado como PCH o aproveitamento desde que estivesse de acordo com uma das duas condições à seguir:

- 1) Dimensionamento do reservatório em função de outros objetivos, desde que autorizado pela ANEEL;
- 2) Caso o limite de 3,0 km² seja excedido o aproveitamento ainda será considerado com características de PCH se for atendida a condição abaixo.

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad (1)$$

Não podendo exceder 13km² a área do reservatório.

Onde:

A é a área do reservatório [km²];

P é a Potência Elétrica Instalada [MW];

H_b é a queda bruta [m].

As Pequenas Centrais Hidrelétricas agregadas aos outros aproveitamentos hidráulicos, Termelétricas e outras fontes de energia totalizavam uma potencial instalada no Brasil de 123GW até 2013 (ANEEL, 2013), conforme mostra a Figura 5.

Tipo	Quantidade	% do total	Potência Instalada (kW) ^{1/}	% do total
Usina Hidrelétrica de Energia – UHE	205	7,3	80.134.573	65,1
Pequena Central Hidrelétrica – PCH	440	15,7	4.315.464	3,5
Central Geradora Hidrelétrica – CGH ^{2/}	405	14,4	240.364	0,2
Usina Termelétrica de Energia – UTE	1.647	58,7	34.339.592	27,9
Usina Termonuclear – UTN	2	0,1	2.007.000	1,6
Central Geradora Eolielétrica – EOL	92	3,3	2.044.538	1,7
Central Geradora Solar Fotovoltaica – UFV	13	0,5	7.586	0,0
Total	2.804	100	123.089.117	100

Figura 5 -Empreendimentos em Operação no Brasil.

FONTE: ANEEL, 2013

Em meados da década de 90 e início do século XXI, as Pequenas Centrais tornaram-se investimentos mais atrativos aos empreendedores da iniciativa privada graças a programas como o PROINFA, que estimularam a ampliação deste segmento de energia hidrelétrica, por meio de incentivos fiscais para compra, venda e realocação de energia, aliada a aceleração da análise e parecer de diversos estudos ambientais de projetos em todo o Brasil.

2.1.3 REGULAMENTAÇÃO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Grande parte dos estudos, trabalhos e artigos referente à operação de centrais hidrelétricas estão relacionados com Usinas Hidrelétricas de médio e grande porte, isto é, empreendimentos que possuem uma capacidade de geração acima de 30 MW de potência. A bibliografia encontrada nos meios acadêmicos referente a Pequenas Centrais Hidrelétricas é escassa, existindo assim a grande possibilidade de desenvolver assuntos inéditos ou muito promissores, cada um com peculiaridades diferentes para esses sistemas de geração de energia elétrica.

O ONS exige dos produtores de energia elétrica, uma prospecção de quanto será a geração de energia elétrica durante os dias subsequentes, dependendo das características do aproveitamento. Muitas vezes esse planejamento é realizado de maneira imprecisa com estimativas que dependem da experiência dos operadores ao qual são atribuídas essas responsabilidades. Não existe uma metodologia que estabeleça critérios bem-definidos para esse planejamento

Porém, alguns dos problemas que as empresas possuidoras das concessões das PCHs podem enfrentar são multas e penalidades aplicadas pelos órgãos regulamentadores do sistema. Cada PCH possui uma Energia Assegurada, calculada durante a elaboração do projeto básico e aprovada pela ANEEL. Até 2004, as Energias Asseguradas das PCHs eram calculadas pela ANEEL, a partir dessa data ocorreu a transferência de responsabilidade pelo cálculo para o Ministério das Minas e Energia, conforme Parágrafo 1º do Artigo 4º do Decreto nº 5.163, de 2004. Além disso, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) passou a calcular os valores da Energia Assegurada. A importância de manter a geração de energia acima do valor da Energia Assegurada, está relacionada com o a Resolução Normativa ANEEL nº 266 que determina o cálculo da revisão dessa energia, pois o pagamento do montante gerado é feito multiplicando-se o valor do MWh pela Energia Assegurada da PCH. Caso a média dos últimos cinco anos de geração fique abaixo de 85% da Energia Assegurada da PCH, essa pode ser reduzida, causando um prejuízo para o detentor da concessão da usina.

Sendo assim é interessante um sistema inteligente de verificação dos parâmetros como vazão afluente, nível do reservatório e potência gerada a todo o instante, pois o preço de referência para pagamento da Penalidade por Insuficiência de Lastro de Potência está determinado na Resolução normativa da ANEEL 168/2006.

2.2 FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DE UMA PCH

Existem várias transformações energéticas que ocorrem antes da energia chegar aos consumidores finais. Inicialmente a energia potencial é armazenada em um reservatório localizado a montante da casa de força. Posteriormente a energia cinética da água em movimento realiza o giro mecânico do rotor da turbina, que por sua vez está acoplado ao seu eixo interligando a turbina ao gerador e que através de uma associação entre energia magnética e elétrica proporciona o fornecimento de energia elétrica. Alguns dos sistemas fundamentais para geração de energia em centrais hidrelétricas são descritos a seguir.

2.2.1 Queda Líquida

Para fins de estudos energéticos, a queda líquida de uma PCH deve ser utilizada nos cálculos. Pois, a queda líquida é a diferença entre a queda bruta e as perdas de carga que ocorrem no circuito de adução da PCH (RIBEIRO, 2007). A queda bruta nominal é o nível máximo normal a montante subtraída do nível máximo normal à jusante em determinado instante, conforme definido pela Portaria Nº 861, de 18 de Outubro de 2010.

A obtenção da queda líquida pode ser obtida de diversas formas, sendo uma delas descrita abaixo (SOUZA, 1999):

$$N_l = p_1 + \left[\frac{8.Q^2}{\pi^2.g} \cdot (D_e^{-4} - D_{ts}^{-4}) \right] + z_1 \quad (2)$$

Onde,

- N_l é a queda líquida [m];
- p_1 a pressão de entrada da turbina [mca];
- Q a vazão de água no conduto forçado [m³/s];
- g a aceleração da gravidade [m²/s];
- D_e o diâmetro de entrada da turina [m²];
- D_{ts} o diâmetro de saída do tubo de sucção [m²];
- z_1 representa a diferença de cotas entre a entrada da turbina e o nível a jusante [m];

A equação (2) foi utilizada no período de execução do projeto da PCH em estudo, sendo que os resultados refletiram na perda equivalente a 1,44m em relação a queda bruta da PCH.

2.2.2 Turbinas

As turbinas são componentes fundamentais de um sistema de geração. Existem diferentes tipos de turbinas que comumente são encontradas: Turbinas Pelton ou de impulso, Turbinas Francis ou de reação e Turbinas Kaplan ou hélice (Axial). Basicamente a definição da utilização da turbina que é adotada em cada empreendimento leva em consideração a altura do nível da água em relação ao nível que a turbina está e a vazão considerada no perfil hidráulico da PCH, como mostra a Figura 6, (ANDRITZ, 2013).

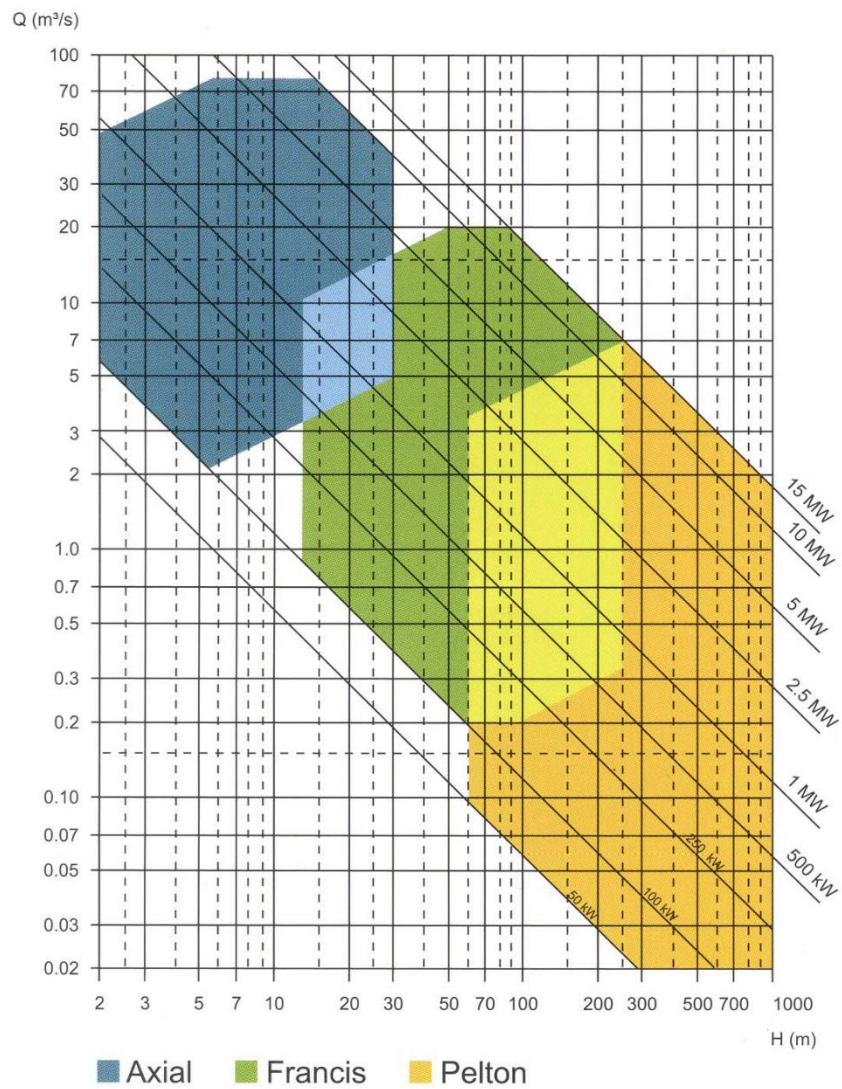


Figura 6 -Diagrama para determinação das turbinas em PCHs

FONTE: ANDRITZHYDRO, 2013

No desenvolvimento do trabalho foram coletados dados de uma Pequena Central Hidrelétrica em que a turbina que compõem a unidade geradora é a do tipo Francis.

2.2.2.1 Turbinas Francis

Provavelmente a versatilidade seja o ponto mais importante da turbina Francis ou de reação (COEN, 1974). A sua tecnologia é desenvolvida de uma maneira que essa turbina possa ser implantada em quedas d' água menores que dez metros, até duzentos e cinquenta metros de queda da água usualmente, porém podendo ser utilizada em quedas maiores. O distribuidor é a parte integrante da turbina responsável pelo fluxo de água afluyente que chega às pás. A abertura do distribuidor entre oitenta e noventa por cento é suficiente para que o rotor gire e alcance a eficiência total. No intuito de garantir uma vedação completa da turbina, quando da necessidade de parar a máquina, é frequente a utilização de uma válvula de fechamento. A alta pressão no conduto forçado gera uma quantidade de movimento que não permite uma queda de pressão no mesmo, sendo na própria turbina a maior perda de pressão. A água ocupa toda caixa espiral e a cavidade do rotor, ao fluir por ela, tanto a energia cinética quanto a pressão são transferidas para o rotor. Como todas as pás da turbina estão envolvidas nesse processo a o diâmetro desta turbina acaba sendo geralmente menor do que das outras.

A maior parte das turbinas de reação são do tipo de fluxo radial (SIMÕES, 2003). A água sobre pressão entra em um condutor em espiral que envolve as pás fixas na direção radial para o interior da turbina, assim a água passa pelo rotor, ocasionado pressão nas pás móveis, acionando o rotor da turbina que por sua vez está acoplado ao eixo do gerador fazendo com que este gire.

Já o controle da quantidade de água que chega às pás do rotor é realizado através de aletas-guia conhecido o seu conjunto por Distribuidor. O ângulo que essas aletas são posicionadas que irá definir a velocidade com que a turbina irá girar, a velocidade nominal da turbina é alcançada geralmente quando ocorre a abertura entre 70% e 85% do total possível. Outra parte fundamental para que a turbina Francis opere com qualidade é o duto de sucção, pois este possui como principal objetivo reduzir a energia cinética da água em seu escoamento, tendo como consequência a redução das perdas e possibilitar que o rotor fique acima do nível de descarga. Na Figura 7 é possível observar um exemplo do rotor de uma turbina Francis.



Figura 7 -Rotor e as pás de uma Turbina Francis.

FONTE: ANDRITZHYDRO,2011

Podem-se projetar turbinas de reação tanto de eixo vertical quanto de eixo horizontal. Na PCH em estudo a turbina é uma Francis de eixo vertical.

2.2.3 Diagrama de colina

Cada turbina projetada e fabricada possui características únicas. A concepção de cada projeto obedece variações específicas que levam em conta as diferentes regiões em que se encontram os rios brasileiros. A curva de colina é obtida por meio de ensaios realizados em fábrica após a finalização da construção da turbina ou por meio de ensaios em modelos reduzidos. Através dessa curva é possível verificar o comportamento que a turbina possuirá em diversas situações durante a operação real, a performance que ela estará sujeita durante a operação real, o desempenho que ela será capaz de prover durante a operação. O modelo padrão para testes de turbinas hidráulicas deve seguir os padrões diretivos da IEC 193. As variáveis relacionadas

neste diagrama são a abertura do distribuidor, a vazão turbinada, a eficiência da turbina, a queda líquida e a potência da turbina.

Parâmetros importantes de se conhecer para o desenvolvimento de estudos realizados com turbinas hidráulicas são: P_n (Potência Hidráulica fornecida a turbina) e P_{ex} (Potência fornecida pelo eixo da turbina). Assim é possível calcular η (a eficiência) deste equipamento.

$$\eta = \frac{P_{ex}}{P_n} \quad (3)$$

O procedimento para levantamento da curva é realizar a medição desses parâmetros em pontos determinados pela velocidade de rotação da turbina e seus parâmetros, sendo que essas variações devem ser graduais.

2.2.4 Gerador

A última transformação de energia, ocorre no equipamento que transforma a energia mecânica da turbina em energia elétrica, o gerador. São divididos em dois grupos: Geradores de Indução e Geradores Síncronos. Devido a restrições operacionais o primeiro é empregado apenas em máquinas com potência até 1MW. A principal vantagem do gerador de indução remete ao menor custo para aquisição, instalação e manutenção, devido à inexistência da excitatriz, do regulador de velocidade e regulador de tensão, não necessitando de equipamentos de sincronização, refletindo em um sistema de proteção e controle relativamente simples (LIMA, 2002).

Os geradores Síncronos são amplamente difundidos nas aplicações tanto para PCHs quanto as UHEs. O rotor é magnetizado por uma fonte CC e é levado a rotação pela acoplamento mecânico entre o eixo da turbina com o do gerador. O enrolamento trifásico do estator recebe a indução de tensões resultantes da rotação do campo do rotor em razão do posicionamento geométrico das bobinas das três fases. Um sistema

equilibrado de tensões é produzido. As correntes de carga fluem do estator para o exterior por conexões rígidas, permanentes.

A Potencial Nominal de um gerador é definido como a Potência em seus terminais de saída. Além das limitações térmicas que os geradores possuem, a potência da turbina que está interligada a esse sistema também é um fator limite para sua potência final. Desta forma, é possível obter a Potência Nominal do Gerador por meio da expressão (4):

$$P = P_t \cdot \left(\frac{\eta_g}{f_p} \right) \quad (4)$$

Sendo,

- P a potência do gerador [VA];
- P_t a potência máxima no eixo da turbina (W);
- η_g o rendimento do gerador;
- f_p o fator de potência do gerador

Na Figura 8 se pode observar um exemplo de um gerador de uma PCH.



Figura 8 - Gerador de uma PCH.

FONTE: WEG, 2012

2.2.5 Regulador de velocidade

Tendo como principal função a manutenção da velocidade em um valor constante, o Regulador de Velocidade, permite que o gerador forneça energia ao sistema elétrico de potência em 60Hz e que a tensão gerada seja mantida em seu valor nominal. Como a potência gerada é função direta da vazão turbinada, o regulador de velocidade desempenha também um papel fundamental no controle de potência ativa quando a unidade geradora está sincronizada ao sistema elétrico. Basicamente, existem três tipos de reguladores nas usinas que compõe o sistema elétrico brasileiro: os mecânicos, os eletrônicos-analógicos e os digitais. A maior parte das PCHs construídas na última década, possuem a tecnologia mais avançada de reguladores implementada que utilizam o eletro-hidráulico digital, semelhante ao regulador da PCH

em estudo nesta dissertação. Dividindo-se em um circuito hidráulico e um eletrônico, sendo o primeiro responsável pelo acionamento do distribuidor da turbina e o segundo pela elaboração do sinal de controle adequado para que a regulação seja estável e precisa.

O RV é o equipamento responsável por fazer o ajuste da abertura e fechamento do distribuidor da turbina quando uma potência é selecionada pelo operador, alterando assim a vazão de água que passa pela turbina. Antes do operador passar a máquina do estado parado para máquina sincronizada. Existem basicamente dois tipos de reguladores: isócronos e com estatismo permanente (LIMA, 2002).

2.2.5.1 RV Isócrono

Adequado para sistemas que operam isoladamente uma determinada carga ou quando somente um gerador em um sistema multigerador é necessário para responder às variações de carga. Este regulador possui a característica de manter a velocidade da turbina constante. A Figura 9 apresenta essa característica desse regulador.

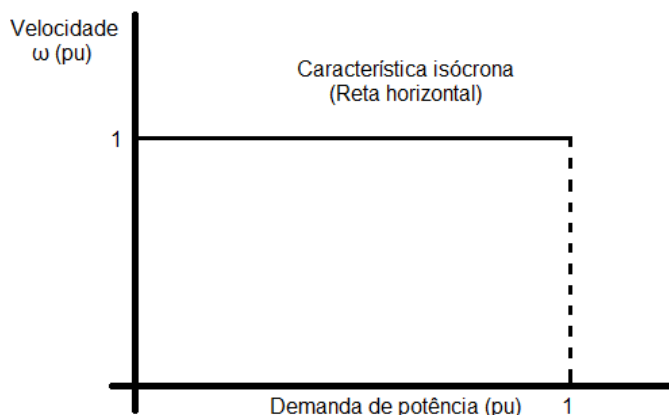


Figura 9 -Característica isócrona do RV.

FONTE: Adaptado de COSTA, 2012

O valor medido da velocidade do rotor é comparado com uma velocidade de referência. O erro é amplificado e integrado para produzir um sinal de controle ΔY que

atua nas válvulas proporcionais principais do regulador de velocidade. Por causa do controlador integral, ΔY vai alcançar um novo regime somente quando o erro $\Delta \omega_r$ for zero. Algumas PCHs possuem o regulador de velocidade com as características semelhantes ao da Figura 10, pois são responsáveis pelo fornecimento de energia em sistemas isolados.

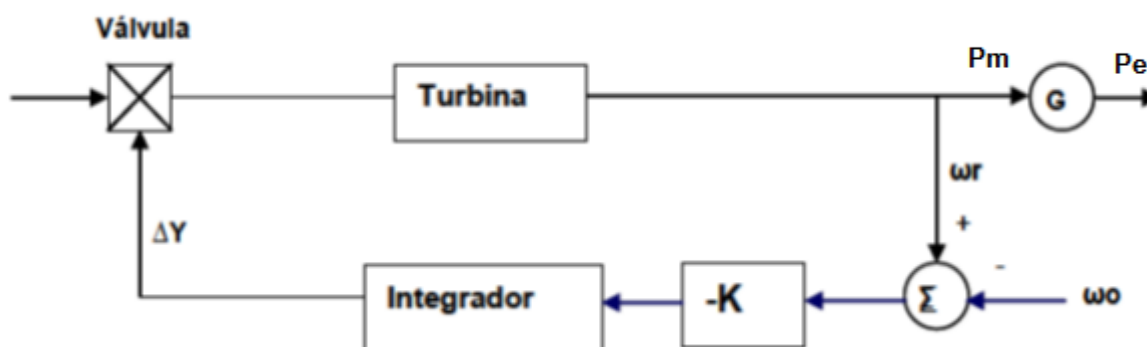


Figura 10 -Diagrama esquemático do Regulador Isócrono

FONTE: Adaptado de COSTA, 2012

Sendo, ω_o a velocidade de referência, ω_r a velocidade do rotor, $\Delta \omega_r$ o erro, P_m a potência mecânica, P_e a potência elétrica e Y a posição de abertura da válvula.

2.2.5.2 RV com estatismo permanente

Para permitir a operação da unidade geradora em paralelo, adiciona-se ao RV isócrono uma malha de realimentação, representado na Figura 11. O estatismo é definido pela variação percentual da velocidade quando da ocorrência de um impacto de carga igual à potência nominal do gerador elétrico. Desta forma, este regulador passa a ser chamado de RV com queda de velocidade ou RV com estatismo permanente. Assim, o RV com estatismo regula a frequência e potência. Sendo esse tipo de regulador amplamente utilizado nas PCHs hoje em operação, pois o emprego deles está voltado para as PCHs conectadas ao SIN.

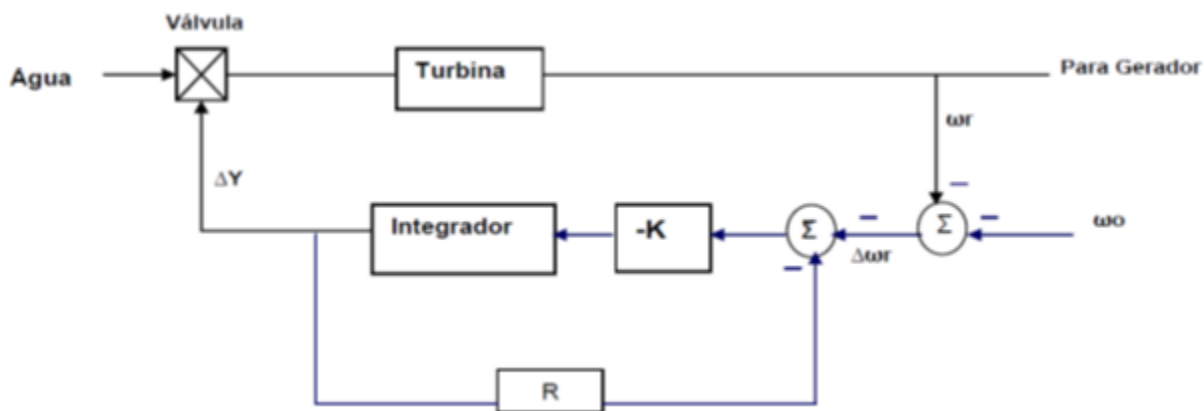


Figura 11 - Diagrama Esquemático do Regulador com Queda de Velocidade.

FONTE: COSTA, 2012

Conforme (COSTA ,2012), a função de transferência do regulador se reduz à forma mostrada na Figura 12. Este tipo de regulador é caracterizado como um controlador proporcional com um ganho $1/R$.

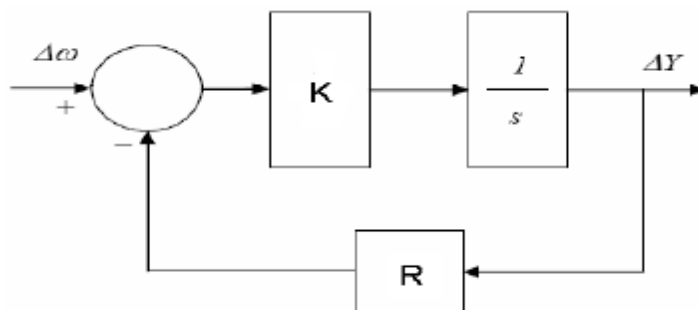


Figura 12 -Diagrama de blocos com realimentação.

FONTE: COSTA, 2012

A variação no valor de R define a velocidade em regime permanente em relação à carga solicitada da unidade geradora. A relação de desvio de velocidade ($\Delta\omega_r$) para variar a posição de abertura da válvula (ΔY) ou da potência ΔP é igual a R . O parâmetro R se refere à regulação de velocidade ou estatismo, e pode ser expresso por:

$$R(\%) = \left(\frac{\omega_{NL} - \omega_{Fl}}{\omega_0} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Sendo, ω_{NL} a velocidade em regime permanente sem carga, ω_{Fl} a velocidade em regime permanente com toda a carga e ω_0 a velocidade nominal. Esses sistemas foram apresentados com o intuito de entender como a potência selecionada pelo operador é mantida constante, fato esse possibilitado pelo regulador de velocidade.

2.2.5.3 RV Hidráulico

O circuito hidráulico pode-se dividir em duas partes, uma responsável pela manutenção do óleo sob pressão e a outra contendo válvulas que direcionam esse óleo para acionamento do servomotor de comando das palhetas diretrizes (MANCINI, 1987). O acionamento hidráulico é necessário devido a magnitude das forças envolvidas na abertura e no fechamento do distribuidor da turbina e à precisão que esta ação de controle deve manter.

O óleo sob pressão que sai da válvula distribuidora chega aos servomotores, que acionam o anel de regulação e este, aciona um conjunto de bielas que movimentam as palhetas do distribuidor. Existem duas partes distintas no regulador hidráulicos de velocidade. Uma que é responsável pela manutenção de óleo sob pressão para o acionamento e outra composta de válvulas hidráulicas que permitem o desbloqueio e bloqueio hidráulico do regulador, o controle de abertura e fechamento do distribuidor, o travamento automático do distribuidor na posição totalmente fechado e a proteção de sobrevelocidade mecânica. A válvula de isolamento instalada entre o fornecimento de óleo sob pressão e as válvulas de acionamento de abertura do distribuidor está incluída na primeira parte referente à manutenção de óleo sob pressão. A válvula de isolamento é mantida fechada e a máquina deve estar parada para manter sem pressão as válvulas de acionamento de abertura do distribuidor, evitando a perda

de pressão de óleo do acumulador devido a possíveis fugas no sistema hidráulico de acionamento.

2.3 Variáveis de Desempenho em uma PCH

O detalhamento que segue é referente às variáveis que influenciam a eficiência dos sistemas mencionados anteriormente durante a operação em tempo real da PCH. Pode-se determinar como eficiência, o resultado da energia que está armazenada no reservatório da PCH e que por sua vez é transformada em energia elétrica transmitida ao SIN (CICO GNA, 2003). Esta eficiência está relacionada com a *produtibilidade* da unidade geradora, a qual depende do volume armazenado no reservatório, vazões turbinadas pelas unidades e vazões vertidas (incluindo vazões sanitárias quando encontradas). A equação a seguir relaciona estas variáveis.

$$p(x, y, z) = k \cdot \eta_{tg} \cdot [\alpha(x) - \beta(y) - h_p(z)] \cdot z \quad (6)$$

Onde,

p é a produtibilidade da unidade geradora;

$\alpha(x)$ é o volume armazenado no reservatório;

$\beta(y)$ vazão turbinada;

$h_p(z)$ vazão vertida;

k é uma constante composta pelo peso específico da água, a aceleração da gravidade e um fator 10^{-6} ;

η_{tg} é o rendimento do conjunto turbina/gerador;

Conclui-se que quanto maior a produtibilidade de energia elétrica, maior será a energia fornecida ao sistema elétrico. O volume armazenado x influi no nível do reservatório, e conseqüentemente na queda líquida. Por fim no rendimento da Unidade η_{tg} .

Diferente de grandes usinas, as PCHs em geral não possuem grande capacidade de armazenar água, seria recomendável nesses casos que a vazão afluente no reservatório fosse a mesma efluente no canal de fuga para que a queda líquida permaneça-se inalterada, porém muitas vezes os fatores climáticos não permitem que a operação se comporte de maneira estável, variando assim a eficiência da unidade geradora ao longo do dia. Como se pode observar no diagrama de colina da Figura 23, a queda líquida e a vazão turbinada influenciam diretamente no rendimento da turbina, pois, quanto maior a vazão turbinada maior será a elevação no nível do canal de fuga, diminuindo a queda líquida.

Durante a transformação da energia potencial até a saída da energia elétrica nos terminais dos geradores, ocorrem principalmente três tipos de perdas: perdas por elevação do canal de fuga, perdas devido ao atrito nos condutos forçados e perdas por variação de rendimento do conjunto turbina/gerador (FABIANI; OTA; SILVA; AKIL; 2008; ENCINA; SANTOS; CICOGNA; FILHO; OHISHI, 2002 e RESENDE, 2007).

As perdas por elevação no nível do canal de fuga podem ser representadas pela equação a seguir (CICOGNA ,2003).

$$p_{cf} = k \cdot \eta_{tg} \cdot (\theta(q_n) - \theta(q_{min})) \cdot q_n \quad (7)$$

Onde:

- p_{cf} é a perda na geração devido à elevação no nível do canal de fuga [MW];
- k é uma constante composta pelo peso específico da água, a aceleração da gravidade e um fator 10^{-6} ;
- η_{tg} é o rendimento do conjunto turbina gerador;
- $\theta(.)$ é a função cota do nível do canal de fuga [m];
- q_n é a vazão turbinada total da usina [m³/s];
- q_{min} é a vazão mínima turbinada [m³/s].

A queda líquida máxima e sem desperdício de água vertida ocorre quando a vazão afluente da usina é igual a vazão turbinada de todas as unidades geradoras

juntas em potência nominal, e a vazão efluente do canal de fuga possui um valor igual a vazão afluente estando no nível mínimo do canal de fuga.

Já os valores das perdas ocorridas devido ao atrito nos condutos forçados podem ser expressos pela equação (14).

$$p_h = k \cdot \eta_{tg} \cdot h_p \cdot q_n \quad (8)$$

Sendo:

p_h a perda de geração pelo atrito nos condutos forçados e túnel de adução [MW];

h_p é a perda hidráulica – função da vazão turbinada na unidade geradora [m];

Analizando a vazão turbinada e as perdas hidráulicas, conclui-se que tais grandezas são diretamente proporcionais, isto é, o aumento da vazão turbinada aumenta as perdas por atrito.

Finalmente a perda por variação do rendimento do conjunto Turbina/Gerador é calculado através da equação (15).

$$p_r = k \cdot (\eta_{tg} - n_{tg}) \cdot h_1 \cdot q_n \quad (9)$$

Onde:

p_r é a perda por variação de rendimento do conjunto Turbina/Gerador;

η_{tg} é o rendimento máximo do conjunto turbina gerador;

Fato que pode ser observado no diagrama de colina das Turbinas deste estudo, que encontra-se na Figura 23.

Para os estudos realizados neste trabalho o valor das perdas totais foi fixado em 1,44m, definido pelo projetista da Pequena Central Hidrelétrica durante a fase de prospecção do empreendimento, fato fundamental para o cálculo da queda líquida

deste trabalho, pois essa é uma das variáveis de entrada do sistema de apoio à tomada de decisão.

2.4 PROCEDIMENTOS DE REDE

Os procedimentos de rede elaborados pelo ONS possuem como uma de suas finalidades a definição dos requisitos necessários para o planejamento eletroenergético da geração, transmissão e distribuição de energia ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Atualmente os procedimentos de rede são compostos por 26 módulos, todos aprovados pela ANEEL, onde estão descritos assuntos que são de fundamental importância para a Operação de todo o sistema elétrico brasileiro, como:

- Planejamento de Operação;
- Manual dos Procedimentos de Operação;
- Recursos Hídricos e Meteorologia;
- Medição para faturamento;
- Acompanhamento de manutenção;
- Identificação e tratamento de penalidades para as não conformidades observadas na operação e transmissão de energia.

Esses são alguns exemplos dos inúmeros temas abordados nos procedimentos de rede. Para uma PCH esses procedimentos não são rigorosos quando comparados com Usinas Hidrelétricas de grande porte, porém, devem ser respeitados. A PCH em estudo é caracterizada como usina do TIPO II, tendo como consequência operativa uma programação centralizada e um despacho de energia não centralizado. O fator

principal por ela estar enquadrada nessa classificação seria pela localização a montante de uma UHE, interferindo diretamente no reservatório de tal aproveitamento hidráulico. Destacando-se as seguintes obrigações abaixo, conforme submódulo 26.2 dos critérios para classificação da modalidade de operação de usinas:

- (a) Participar dos processos voltados a: ampliações e reforços, planejamento e programação da operação.
- (b) Encaminhar as informações necessárias para atender aos processos específicos dos Módulos 4, 5, 6, 7, 8 e 12.
- (c) Deverão ter a programação da operação centralizada e estabelecida pelo ONS (em bases mensais, semanais e diárias) quando necessário para atender condições operativas específicas.
- (d) A critério do ONS, determinadas usinas classificadas na modalidade de operação TIPO II, poderão não ter seu despacho determinado pelo ONS, mas deverão informá-lo para que conste e seja considerado na programação da operação centralizada e estabelecida pelo ONS (em bases mensais, semanais e diárias).

2.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O desejo de entender toda a dinâmica da inteligência humana, como funciona a modernização dos pensamentos dos seres humanos por meio da aplicação da tecnologia, evoluindo explicações algorítmicas dos processos mentais, trouxe uma finalidade para a Inteligência Artificial que necessita da elaboração de teorias e modelos de inteligência programadas em um computador. Fato concreto no meio acadêmico é que não existe um consenso sobre a definição de inteligência artificial. No entanto, a simulação do raciocínio humano, a percepção, o aprendizado e a possibilidade de tomar decisões que possam ser implantadas em um computador, define de maneira adequada as principais características da inteligência artificial.

2.5.1 Lógica Nebulosa

Dentro da teoria clássica, um conjunto é definido por uma função geralmente chamada de função característica, que declara quais são os elementos de um conjunto X . Um conjunto A é definido por sua função característica, y_a representada em (10) (GOMIDE; GUDWIN; TANSCHKEIT, 2009).

$$y_a(x) = \begin{cases} 1, & \text{para } x \in A \\ 0, & \text{para } x \notin A \end{cases} \quad (10)$$

Caso um conjunto não contenha nenhum membro este conjunto é chamado de conjunto vazio. Dentre as operações utilizadas na teoria dos Conjuntos Tradicionais pode-se destacar a união representada por \cup , intersecção representado por \cap e o complemento representada por \neg .

A união dos conjuntos A e B é denotado por:

$$A \cup B = \{x | x \in A \text{ ou } x \in B\} \quad (11)$$

Esta operação pode ser considerada como a soma de dois conjuntos

A intersecção de dois conjuntos A e B é denotada por:

$$A \cap B = \{x | x \in A \text{ e } x \in B\} \quad (12)$$

O complemento representa os elementos que não fazem parte de um conjunto:

$$\neg A = \{x | x \in X \text{ e } x \notin A\} \quad (13)$$

Já a teoria dos conjuntos nebulosos é definida por:

$$A : X \rightarrow [0,1] \quad (14)$$

Onde, $A(x)$ representa o grau com que x pertence a A e expressa a extensão com que x se enquadra na categoria representada por A (ORTEGA, 2001). Uma função de pertinência particular pode ser visualizada por meio da Equação (15). Como se constata esta função é triangular e as variáveis a , b e c são parâmetros da função.

$$\rho(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } x \in [a, b] \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } x \in [b, c] \end{cases} \quad (15)$$

Pode-se definir que a teoria dos Conjuntos Fuzzy é uma extensão da teoria dos Conjuntos Tradicionais (GOMIDE; GUDWIN; TANSCHIT, 2009).

Sistemas de Inteligência Artificial vem sendo empregados há muitos anos em diversas áreas tecnológicas. A lógica nebulosa destaca-se ao longo de anos como sendo um sistema inteligente eficiente na solução de problemas complexos vivenciados no cotidiano dos seres humanos (RUSSEL, 1995).

A teoria apresentada por Lotfi A. Zadeh em 1965 à respeito dos conjuntos nebulosos, trouxe para o meio acadêmico uma nova concepção para o tratamento das incertezas, por meio de regras que possibilitem a interpretação de eventos para a geração de soluções aproximadas (STURM, 2005). Quando comparadas, a lógica nebulosa com a lógica clássica é possível afirmar que a imprecisão traz uma quantidade de informações maior do que lógica tradicional, diminuindo a perda de informações (MALUTTA, 2004).

Baseando-se nesses conceitos é possível obter uma abordagem mais aproximada e descrever os comportamentos de diversos sistemas complexos de serem modelados com uma matemática precisa.

Será tratado como objetivo principal, o modo aproximado que um operador da PCH toma à decisão para selecionar uma determinada potência, com a qual a unidade geradora trabalhará por determinado tempo. Isto permite capturar a habilidade humana da tomada de decisão.

2.6 SISTEMAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

A motivação deste trabalho está relacionada também com o gerenciamento de recursos hídricos no reservatório da Pequena Central Hidrelétrica e a eficiência com que a energia é gerada ao longo do ano neste local. As políticas que são empregadas, as regras que foram criadas e os parâmetros aos quais os operadores estão sujeitos à utilizar, são algumas das variáveis que são reportadas ao sistema de apoio a tomada de decisão.

Os sistemas de apoio à tomada de decisão não possuem como finalidade a substituição das decisões, mas sim auxiliar. Otimizando as possíveis ações à serem tomadas (CHIK; OTHMAN, 2011). Algumas observações referentes as características do problema devem ser consideradas para a escolha do método a ser empregado, tais como:

- Disponibilidade de dados, facilidade de aplicação e objetividade da decisão;
- Como a problemática é apresentada, o que se refere a maneira de como o processo decisório é tratado;
- A estrutura de preferências do decisor.

As questões tratadas acima, são fundamentais para a escolha do método que foi escolhido para aplicação no problema proposto.

Determinadas aplicações como a observada neste trabalho, pois, auxiliam a tomada de decisão em um ambiente compostos por variáveis e situações imprecisas, incertas, com verdades parciais fornecendo uma análise de risco sistemática. Examinando numerosas informações e alternativas, chegando a valores desejados. Esses sistemas podem ser representados de diferentes formas como:

- a) Réplica física de um sistema;
- b) Modelo analógico ou físico;
- c) Modelagem matemática do problema.

2.7 ALGORITMO GENÉTICO

Nos últimos anos, uma quantidade expressiva de pesquisadores começaram a utilizar fenômenos da natureza como fonte de inspiração para resolver problemas em diversas áreas. Baseados na teoria da seleção natural (DARWIN, 1859) foram desenvolvidos procedimentos computacionais estocásticos cujos métodos de busca modelam fenômenos biológicos de herança genética e seleção natural, chamados de algoritmos genéticos (HOLLAND, 1975).

A proposta de foi incorporar em um algoritmo computacional os processo de evolução natural das espécies. Utilizando como referência a geração de uma população de cromossomos. Novos cromossomos com propriedades genéticas superiores a dos seus antecedentes. Empregando essa metodologia para a resolução de problemas no mundo real, cada indivíduo da população, denominado como cromossomo, corresponderia a uma possível solução para o problema. Partindo do pressuposto que os indivíduos com boas características genéticas têm maiores chances de sobrevivência e de produzirem indivíduos com características melhores, e indivíduos menos aptos tenderão a desaparecer. Sendo assim, os Algoritmos Genéticos (AGs) favorecem ao surgimento de indivíduos mais aptos, ou seja, novos indivíduos mais promissores para a solução de um problema (OLIVEIRA, 2004).

Os três operadores corriqueiramente utilizados em AGs, são: seleção, cruzamento e mutação (COELHO, 2003). O projeto de um algoritmo genético possui as seguintes etapas:

- a) Criar uma população inicial de indivíduos, sendo esta população uma das possíveis soluções para o problema;
- b) Classificar cada solução, com relação ao cálculo da função de aptidão, avaliando-se o nível de adaptabilidade de cada indivíduo da população em relação ao problema;
- c) Selecionar os indivíduos mais aptos de acordo com a estratégia de seleção adotada;

- d) Aplicar o operador genético de cruzamento ou recombinação;
- e) Aplicar o operador genético de mutação;
- f) Gerar uma nova população e repetir as etapas de b) até e) atingindo um critério de convergência satisfatório.

Durante a etapa de cruzamento é que ocorre a troca de material genético entre os indivíduos. Já o operador de mutação, modifica os valores dos genes do indivíduo auxiliando na busca de uma população não explorada. Em termos práticos, é nessa etapa que a solução diverge dos ótimos locais para o ótimo global. Os parâmetros estipulados aos AGs são normalmente determinados heurísticamente, como: o tamanho da população, tamanho da estrutura dos cromossomos, probabilidade de cruzamento, probabilidade de mutação e os tipos dos operadores genéticos a serem adotados (FOGEL, 1995).

É importante saber que a representação dos cromossomos podem ser realizadas de duas formas: binária ou real. A função de avaliação de cromossomos deverá analisar os resultados obtidos das soluções possíveis e também deve-se determinar um critério de parada para a execução de um AG. Os parâmetros necessários para a definição do AG, são (OLIVEIRA, 2004):

- a) Tamanho da população;
- b) Taxa de cruzamento;
- c) Taxa de mutação;

Dentre os operadores genéticos se pode salientar:

- a) Seleção para reprodução, podendo esta ser feita de maneira aleatória, seleção proporcional, método do torneio ou método da amostragem universal estocástica;
- b) Cruzamento, podendo ser realizados conforme as figuras 13 e 14;

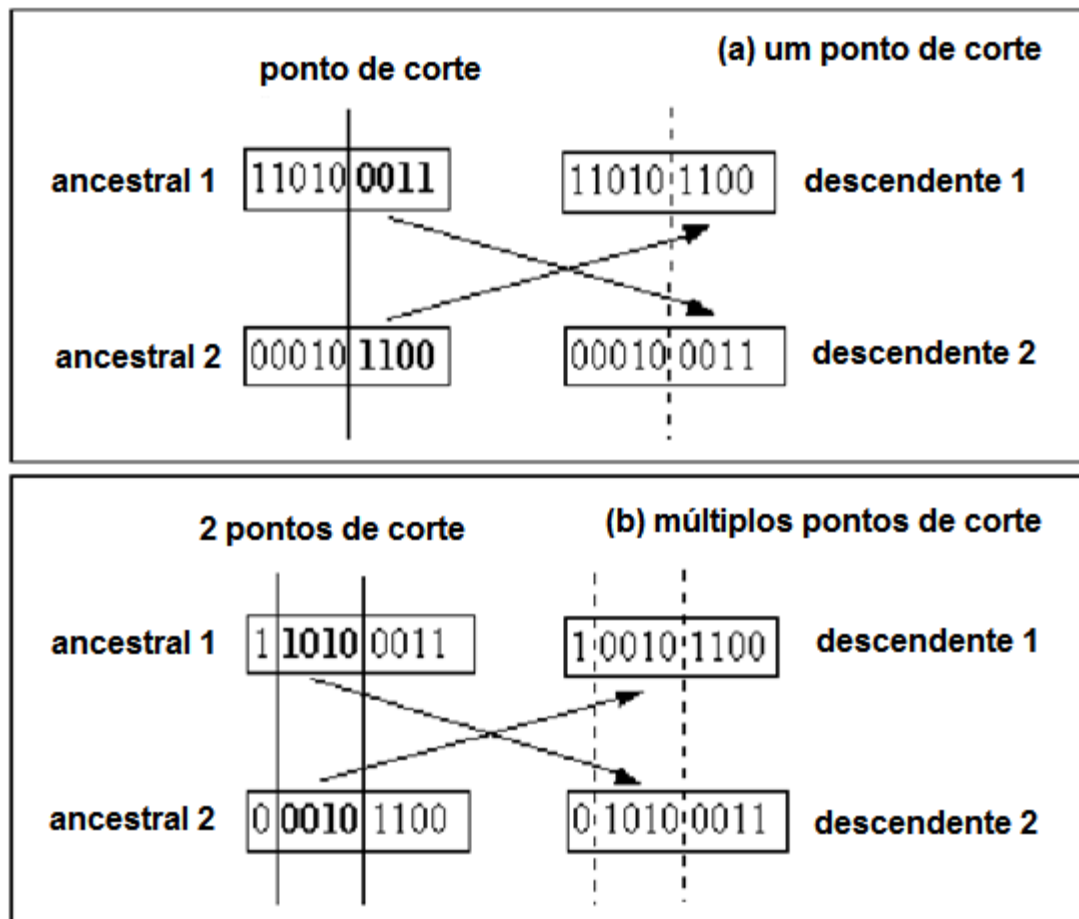


Figura 13 - Exemplos de diferentes tipos de cruzamentos.

FONTE: Adaptado COELHO, 2003

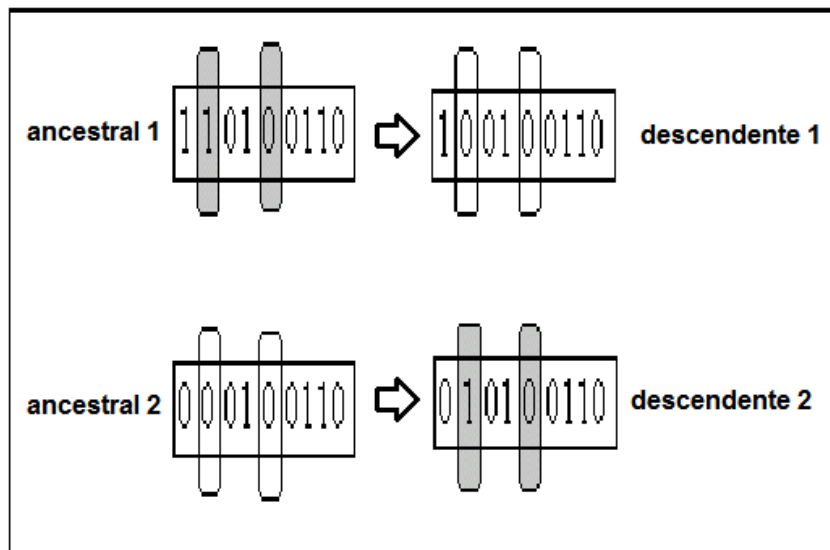


Figura 14 - Exemplo de um cruzamento uniforme.

FONTE: Adaptado COELHO, 2003

c) Mutação, aleatoriamente se escolhe um ou mais genes de um filho para serem alterados, como mostra a Figura 15.

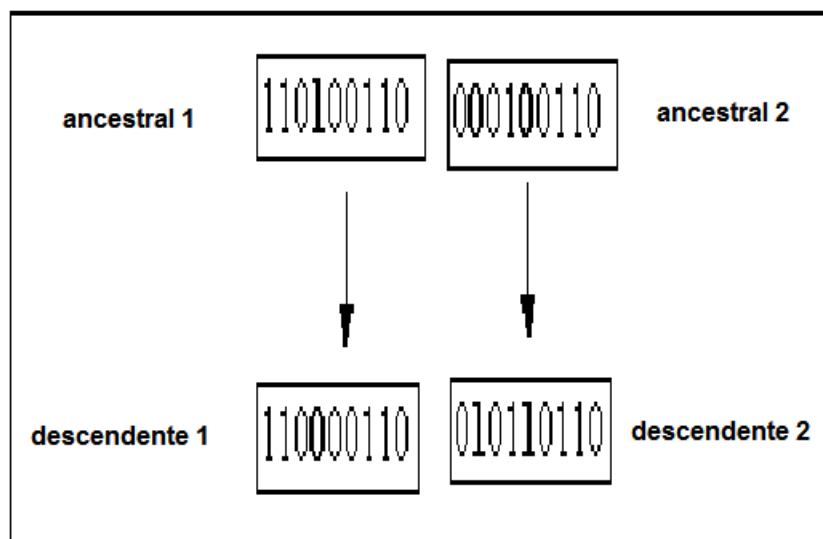


Figura 15 - Muta o de dois indivíduos.

FONTE: Adaptado COELHO, 2003

Algumas características propostas por (REZENDE, 2003) do problema desenvolvido nesta dissertação possibilitaram a aplicação do algoritmo genético, são elas:

- Não requer cálculos complexos;
- Possibilidade de trabalhar com a codificação de um conjunto de parâmetros e não com os próprios parâmetros (binário);
- Realiza transições probabilísticas, em vez de regras determinísticas;
- Apresenta uma simplicidade conceitual;
- Sistemas sujeitos a restrições podem ser tratados adequadamente;
- Possibilita a utilização do conhecimento obtido de que o projeto.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Após o estudo necessário de vários conceitos e subsistemas de uma PCH no capítulo anterior, foi dada continuidade ao desenvolvimento da metodologia a ser implantada para a aplicação do sistema de apoio a tomada de decisão neste capítulo.

Utilizando como base as pesquisas realizadas nas revisões bibliográficas e nas informações obtidas por meio do conhecimento especialista dos operadores de PCHs, se desenvolveu uma metodologia de elaboração de um sistema de apoio à tomada de decisão na operação de pequenas centrais hidrelétricas, representado na Figura16 por um fluxograma. Pelo fato da revisão bibliográfica focar a utilização da lógica nebulosa em casos de trabalho com variáveis estocásticas, como nível de reservatório e vazão de água, aliado à possibilidade de transformar o conhecimento especialista em regras nebulosas foi definido que este seria o método de inteligência artificial a ser aplicado neste problema.

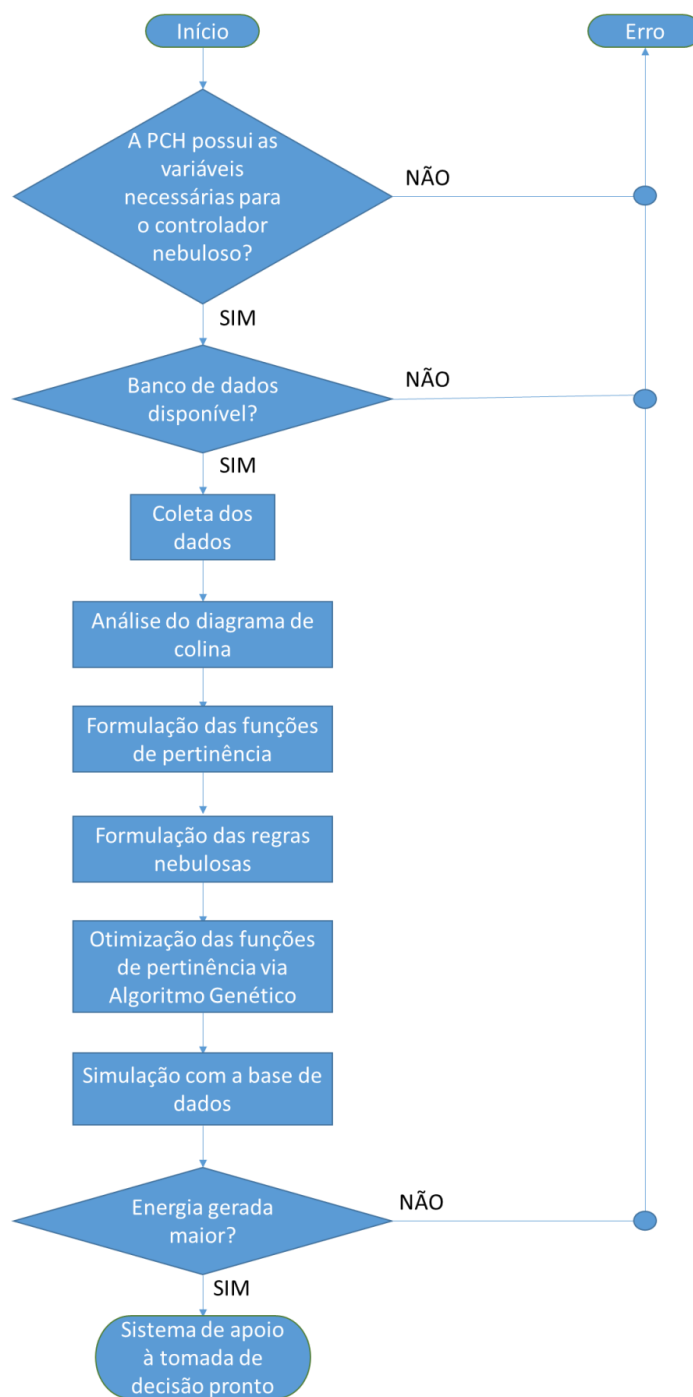


Figura 16. Fluxograma de implantação da metodologia para uma PCH qualquer

FONTE: elaborado pelo autor, 2013

Seguindo essa metodologia será possível verificar uma evolução na eficiência da energia gerada pela PCH. Eventualmente essa metodologia pode ser aplicada a qualquer PCH.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

Os riscos hidrológicos são as principais causas que podem levar a um período de não geração de energia elétrica por parte do produtor, à medida que a geração hidráulica depende primordialmente do comportamento da natureza. Existindo inúmeros sensores trabalhando continuamente dentro de uma pequena central hidrelétrica, torna-se possível o estudo para tornar a operação mais eficiente, com o intuito de aumentar a capacidade de geração total contínua em uma usina com poucos investimentos financeiros ou até mesmo sem nenhum deles.

Dentro desse trabalho foi desenvolvida uma metodologia para aumentar a eficiência da operação de uma planta energética que se encontra interligada ao SIN desde 2007 no estado de Santa Catarina. A Pequena Central Hidrelétrica está situada no Rio Chapecó entre os municípios de São Domingos e Ipuaçu. A Potência Instalada é de 30MW sendo duas turbinas do tipo Francis Vertical cada uma com uma vazão nominal de 36,41m³/s. A Energia Assegurada é de 15.264MWh mensal, isso gera a necessidade de que a Planta opere com uma potência média de 21,20MW durante as 24 horas do dia em um período de 30 dias, como descrito a seguir.

Se,

$$EA = 15.264\text{MWh/mês e}$$

$$PS = 21,20\text{MW}$$

Se a potência de saída do gerador ficar durante 1 hora em um valor constante, é possível afirmar que a energia gerada foi de 21,20MWh.

Então,

$$EAd = 21,20 \times 24 = 508,8\text{MWh/dia}$$

$$EAm = 508,8 \times 30 = 15.264\text{MWh/mês}$$

Onde,

EA – Energia assegurada perante a ANEEL (MWh);

PS – Potência selecionada (MW);

d – duração de um dia em horas;

EAd – Energia assegurada por dia (MWh/dia);

EAm – Energia assegurada calculada por mês (MWh/mês).

A queda bruta calculada pelos projetistas da PCH foi de 46,56m. Com relação ao reservatório, a Área inundada é de 9,28km², chegando a um Volume Total de 141,96x10⁶ m³. A Figura 17 tem a finalidade de orientar a disposição dos sistemas envolvidos da PCH nesta dissertação.

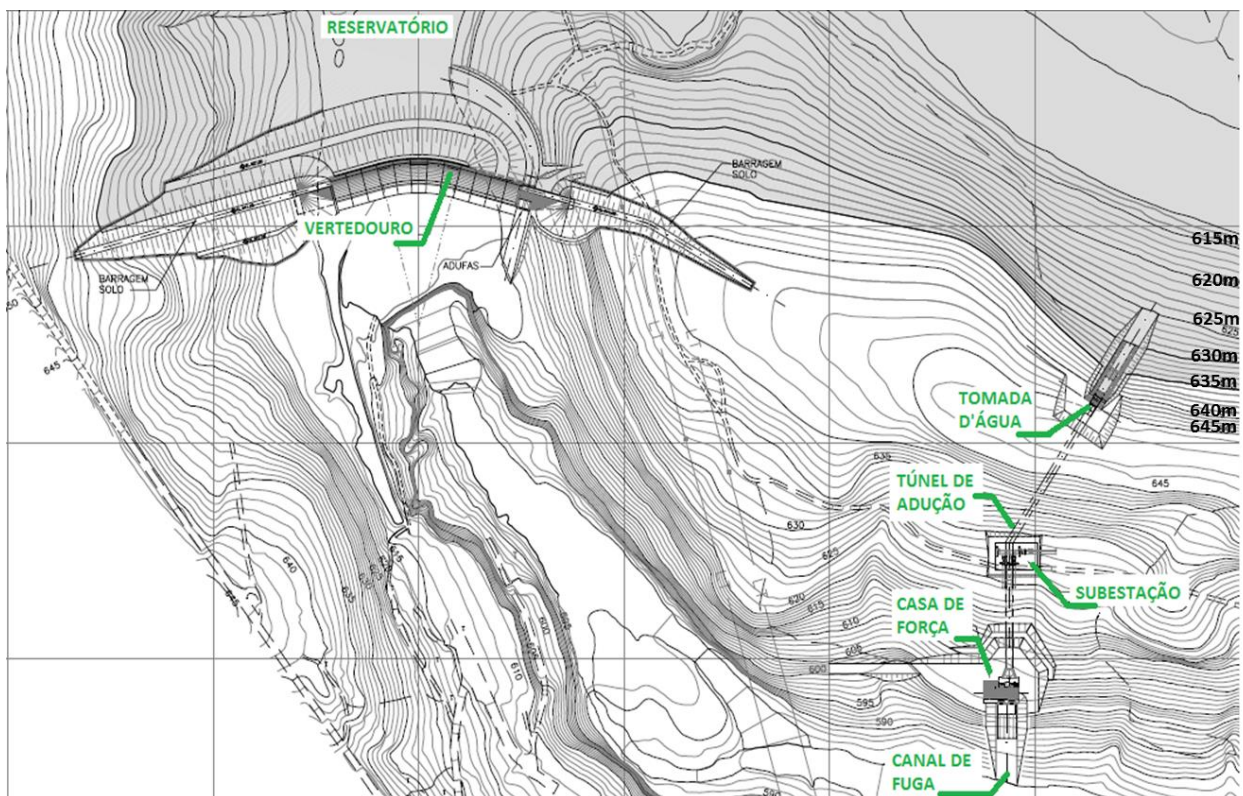


Figura 17. Principais Sistemas da Pequena Central Hidrelétrica em estudo, situada no Rio Chapecó – SC – Brasil

FONTE – elaborada pelo autor, 2013

A vazão afluyente é medida antes do reservatório, devido a necessidade de haver fluxo de água para o seu funcionamento. Próximo ao vertedouro é o local onde estão instalados os sensores que realizam a coleta dos dados referente ao nível do reservatório. No canal de fuga, está instalado o medidor de nível de jusante.

A tomada d'água está localizada junto a barragem onde ocorre a captura de água que chegar até a turbina por meio do túnel de adução, como mostrado na Figura 17. No túnel de adução é que ocorrem as perdas hidráulicas já citadas anteriormente. Finalmente é na casa de força em que estão localizados os dois principais equipamentos da PCH, o gerador e turbina.

Além desses dados, são fundamentais as características do aproveitamento, tais como:

- NI - Queda Líquida [m];
- K - Fator de Perda;
- P - Pluviometria [mm];
- Qa- Vazão Afluyente [m^3/s];
- Nr - Nível do Reservatório [m];
- Nj - Nível do Canal de Fuga [m];
- Dn - Variação no Nível do Reservatório [m]

Todas essas variáveis podem influenciar a modelagem do problema que buscou fundamentalmente o controle do nível do reservatório, dentro de patamares previamente definidos e planejados que devem satisfazer a necessidade do empreendedor e do sistema elétrico.

4.1 BASE DE DADOS

Os dados utilizados para elaboração das análises, simulações e comparações são referentes ao período de um ano, assim é possível afirmar que diferentes condições naturais foram abordadas no problema. Os períodos possíveis são:

- Períodos de Cheia – grande vazão no Rio;
- Períodos de Estiagem – pequena vazão no Rio;

Esses dados foram incluídos em uma única base de dados para que fosse facilitada a análise detalhada. A seguir segue síntese das variáveis analisadas no sistema.

- 1) Potência das duas Unidades Geradoras;
- 2) Geração Média Diária individual das Unidades;
- 3) Nível do Reservatório;
- 4) Nível à Jusante;
- 5) Queda Bruta;
- 6) Queda Líquida;
- 7) Vazão Afluente;
- 8) Vazão Turbinada individual das Unidades;
- 9) Pluviometria;

Além dessas variáveis, foram calculadas mais algumas consideradas fundamentais para análise do comportamento do reservatório, tais como:

- a) Energia Gerada diariamente;
- b) Nível Médio do Reservatório;
- c) Variação no Nível do Reservatório;
- d) Vazão Efluente total;
- e) Pluviometria Diária;

Existem estudos previamente conhecidos que são realizados quando uma PCH está em fase de prospecção como vazão histórica do Rio durante os últimos 30 anos, queda efetiva da região, potencial energético e quantidade de máquinas a serem utilizadas no desenvolvimento de um projeto básico de uma Pequena Central Hidrelétrica. Essa base de dados completo proporcionou a observação de relações que

difficilmente seriam notadas quando analisadas de forma isolada. Dados como a Curva de Descarga do Vertedouro são importantes para que seja abordada a maior quantidade de situações possíveis durante a modelagem do problema, nesse caso é a quantidade real de energia que pode ser desperdiçada em casos de vertimento. Fato observado na Figura 18, pois quando a elevação ultrapassa a cota de 635m, ocorre o vertimento d'água, dentro das proporções estabelecidas pela curva.

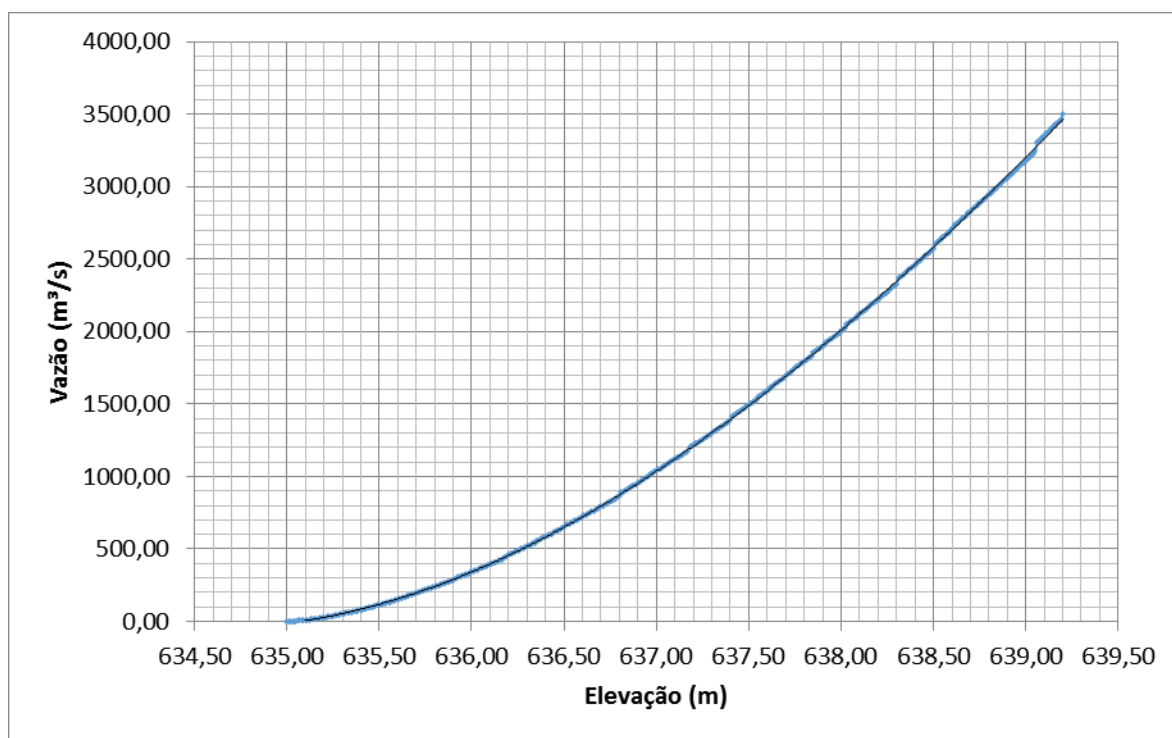


Figura 18. Curva de Descarga do Vertedouro

FONTE: adaptada pelo autor PROJETISTA DA PCH, 2007

A Curva de Descarga do Vertedouro permite saber o valor do volume de água desperdiçado a cada centímetro de elevação superior a cota de vertimento. Assim, possibilitará uma análise da utilidade na metodologia em termos percentuais dos possíveis ganhos de geração, manutenção e comercialização.

Outro dado importante coletado, foi o histórico de vazões, como segue:

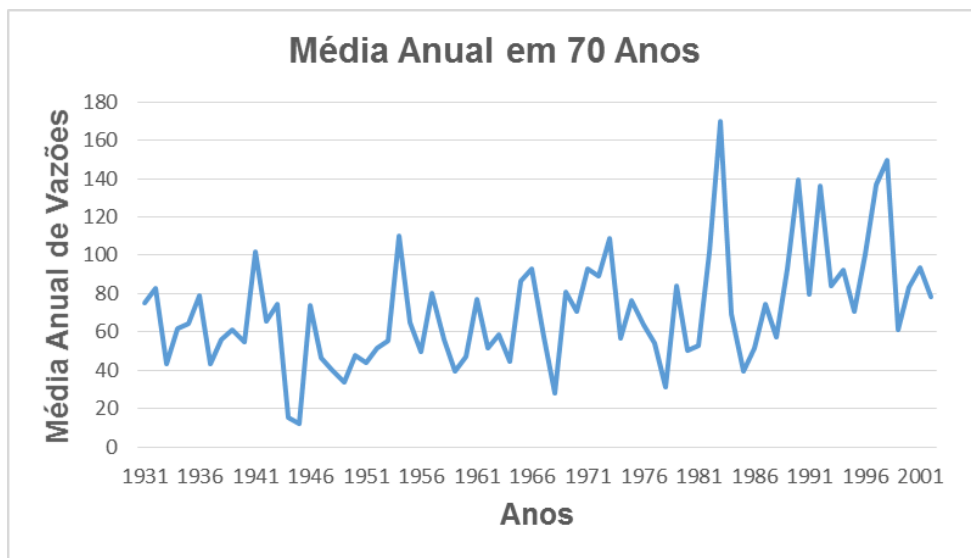


Figura 19. Histórico da média anual das vazões do Rio Chapecó

FONTE: elaborada pelo autor

Apesar de um aumento significativo na vazão do Rio Chapecó a partir dos anos 80, a vazão não seguiu um padrão de variação.

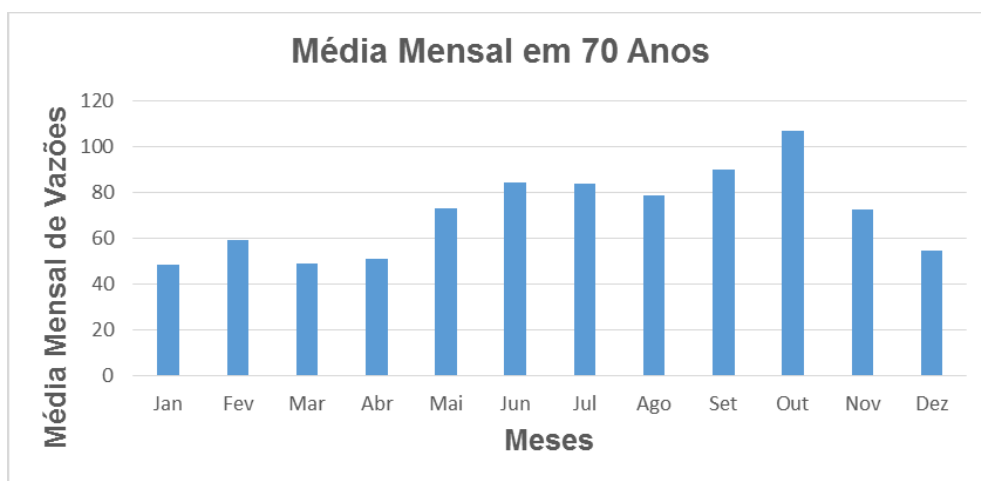


Figura 20. Histórico da média mensal das vazões do Rio Chapecó

FONTE: elaborada pelo autor

Analisando mensalmente o regime das vazões deste rio, é possível verificar que a concentração de chuvas desta região está entre os meses de Maio e Novembro, fator de fundamental importância na programação e geração da PCH.

CAPÍTULO 5

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO CONTROLE NEBULOSO

Após o estudo realizado nos capítulos anteriores foi possível iniciar a modelagem efetiva do sistema de apoio a tomada de decisão utilizando lógica nebulosa. Visando uma análise inicial de quais variáveis seriam essenciais para o desenvolvimento das funções de pertinência e conjunto de regras, calculou-se a correlação entre as mesmas. O total de amostras disponíveis para o período de um ano de análise foram de 52560 (resultante seis variáveis, sendo cada uma delas coletadas em períodos de uma hora), porém se optou em utilizar um universo de 37854 amostras, sendo 6309 de cada variável. Variáveis consideradas inaptas para desenvolvimento do controlador foram descartadas, tais como, períodos em que a geração foi interrompida propositalmente devido a ordens do ONS, manutenções programadas ou até mesmo contingências que ocasionaram a parada de máquina. Todos esses dados foram coletados em relatórios gerenciais disponíveis para execução da dissertação, mas devido a políticas da empresa detentora da concessão da PCH, não foi autorizada a divulgação dessas ocorrências.

Como a operação em tempo real não leva em consideração a evolução temporal, o critério de amostragem para as variáveis do controlador é factível para o desenvolvimento deste sistema.

Optou-se pelo uso do coeficiente de correlação para analisar as variáveis envolvidas no sistema.

Variáveis em análise:

- 1) N_R – Nível do Reservatório [m];
- 2) N_J – Nível do Canal de Fuga [m];
- 3) N_L – Queda Líquida [m];
- 4) P_L – Pluviometria [mm];

- 5) DNR – Variação no Nível do Reservatório [cm];
- 6) Q – Vazão Afluente [m³/s];
- 7) Q_{TT} – Vazão Turbinada Total da PCH [m³/s];
- 8) P_T – Potência Injetada no SIN [W]

Tabela 1. Matriz de Correlação

	NR	NJ	NL	PL	DNR	Q	QT	PT
NR	1,000							
NJ	0,582	1,000						
NL	0,884	0,237	1,000					
PL	0,005	0,003	-0,005	1,000				
DNR	-0,089	-0,223	0,002	0,114	1,000			
Q	0,642	0,636	0,456	0,077	0,078	1,000		
QTT	0,675	0,731	0,453	0,056	-0,267	0,809	1,000	
PT	0,675	0,731	0,453	0,056	-0,267	0,809	1,000	1,000

A Tabela 1 mostra a matriz de correlação resultante. Abaixo estão os critérios para análise dos resultados obtidos com a Matriz de Correlação, conforme (LIRA, 2004).

- Se $N_{ij} < 0,2$, a correlação é desconsiderada;
- Se $0,20 < N_{ij} < 0,40$, a correlação é fraca;
- Se $0,40 < N_{ij} < 0,60$, a correlação é moderada;
- Se $0,60 < N_{ij} < 0,80$, a correlação é forte;
- Se $N_{ij} > 0,80$, a correlação é muito forte.

Sendo N_{ij} o valor da correlação entre as variáveis analisadas, i a linhas correspondente a variável e j a coluna corresponde na Tabela 1.

Analisando a Tabela 1 é possível perceber características relevantes para a modelagem do problema proposto. As variáveis P_T e Q_T possuem uma correlação total,

pois a Vazão Turbinada é reflexo da abertura encontrada no distribuidor que é responsável pela Potência Ativa da Unidade (conforme o Capítulo 2). A pluviometria é uma variável que não possui uma correlação forte diretamente na operação em tempo real, porém de acordo com os especialistas consultados, ela é relevante quando associada ao planejamento de geração que deve ser enviado ao ONS. Porém, como o intuito deste trabalho é fornecer alternativas para que a tomada de decisão seja executada em tempo real, a variável que tem predominância na tomada de decisão imediata é a vazão afluente da PCH, pois esta irá refletir na velocidade com que o nível do reservatório irá variar influenciando diretamente na potência que a unidade geradora poderá fornecer ao sistema.

A estrutura, os padrões, a base de dados e o conhecimento humano despertaram o interesse para que o desenvolvimento do problema fosse abordado utilizando o Controle Nebuloso. O comportamento linear não pode ser observado quando se relacionam todas as variáveis das quais o Controlador Nebuloso será composto, fato esse que reflete a uma estratégia de controle *"If-Then"*, o que é compatível com o raciocínio humano. Na Figura 21 é possível corroborar a forte correlação que existe entre as variáveis analisadas, em específico, entre o nível do reservatório e a potência selecionada pelo operador.

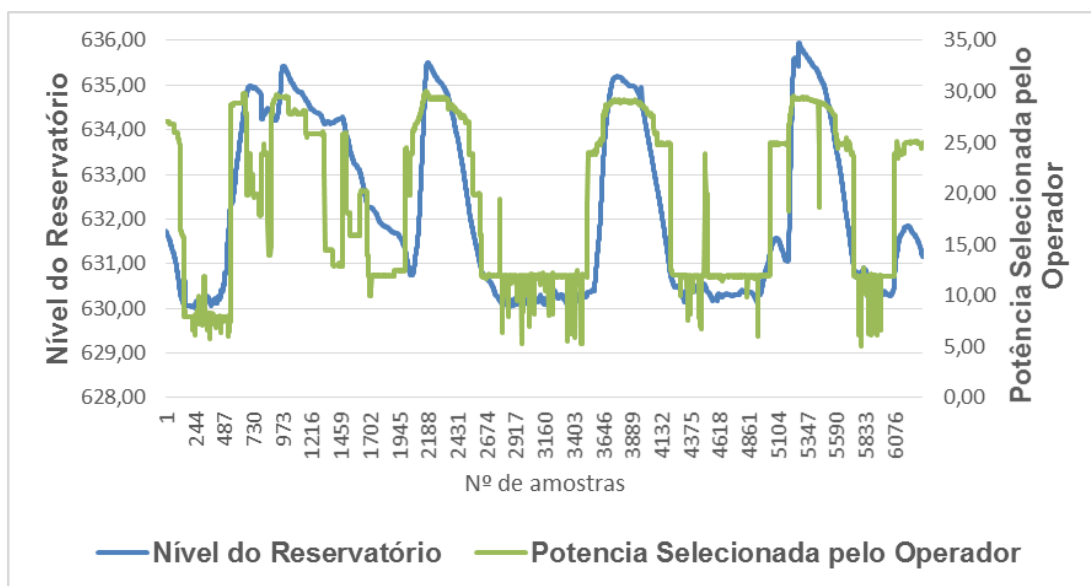


Figura 21 - Relação entre a Potência seleccionada pelo operador e Nível do reservatório considerando todas as amostras da dissertação

FONTE: elaborada pelo autor

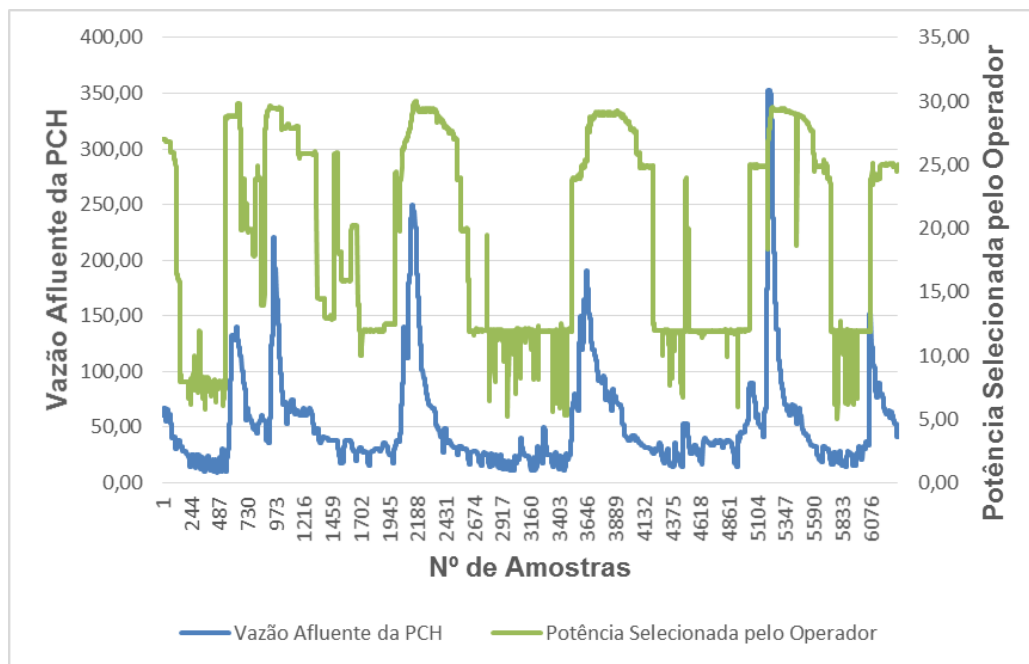


Figura 22. Relação entre a Vazão Afluente da PCH e a Potência Seleccionada pelo Operador

FONTE: elaborada pelo autor

A Figura 22 ilustra graficamente a forte correlação existente entre a vazão afluyente e a potência selecionada pelo operador.

Além de analisar as correlações existentes entre as variáveis do trabalho, algumas premissas foram consideradas para modelagem do controlador, são elas:

- a) Definição do ambiente em que as variáveis linguísticas estão associadas ao sistema de controle de nível do reservatório, isso remete a quantificação das variáveis primárias do problema;
- b) Definição do número de termos primários e graus de pertinência dos conjuntos que envolvem cada variável;
- c) Formulação das regras que formam o algoritmo de controle de nível;
- d) Definição dos parâmetros que a lógica deverá atender, o método de inferência e a forma de “defuzzificação” das variáveis incluindo a sua atuação no controlador.

Alguns valores que foram adotados durante a determinação dos patamares das funções de pertinência controlador envolvem o diagrama de colina da PCH apresentado na Figura 23.

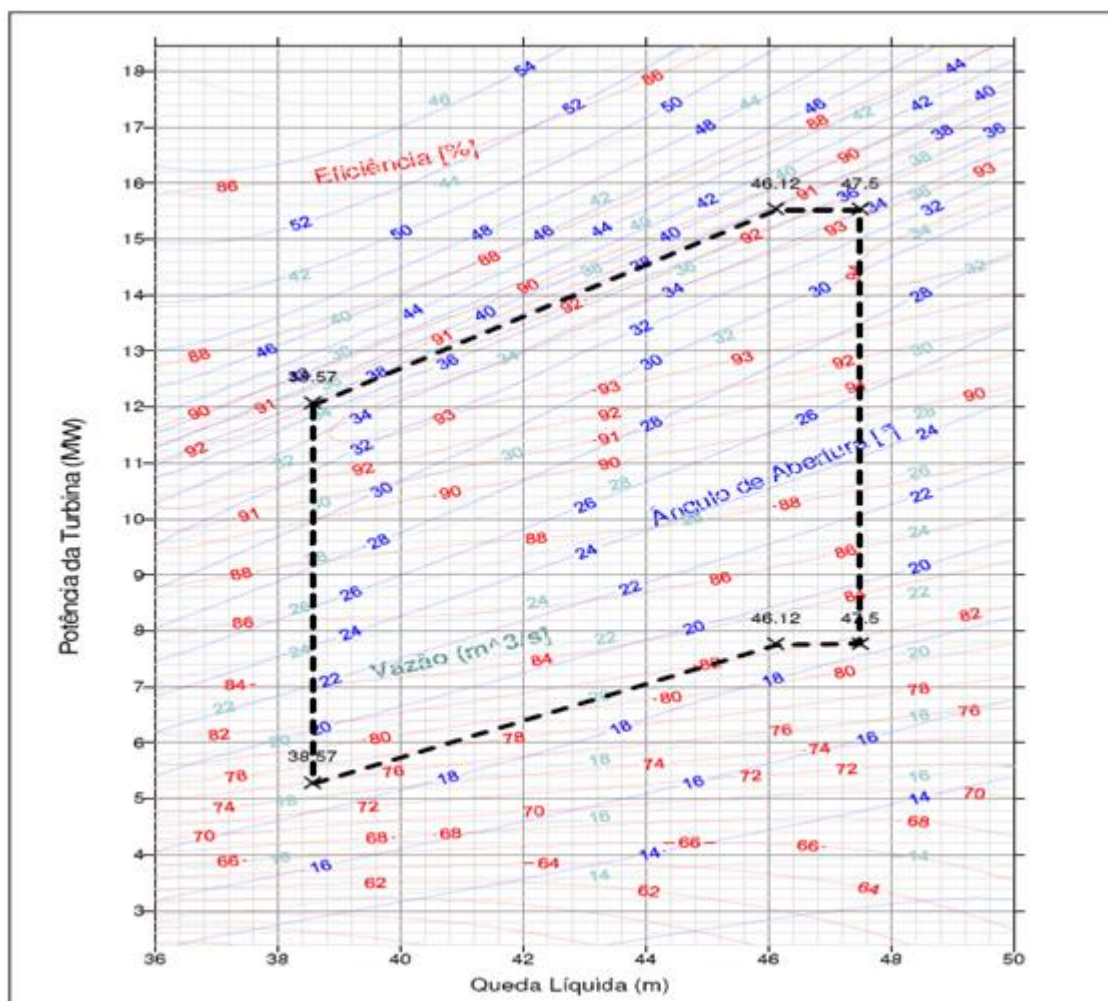


Figura 23. Diagrama de Colina real da PCH em estudo

FONTE: elaborada pelo autor

Observando-se a Figura 23, que contém a curva de colina da pequena central estudada, é possível restringir a faixa de parametrização dos valores máximos e mínimos de algumas variáveis do controlador nebuloso conforme (NIIMURA; YASUDA; YOKOYAMA, 1995 e RUSSEL; CAMPBELL, 1996).

A queda líquida deve estar compreendida entre 38,57m e 47,5m, já a Potência Selecionada pelo operador entre 15,00MW e 5,2MW. No entanto é de conhecimento geral que esses são valores considerados ótimos, que podem ser alcançados em condições ideais de laboratório. Os níveis do reservatório foram fixados de acordo com as restrições impostas pelos projetos ambientais da PCH, que limitam a faixa de operação do reservatório entre 630m e 635m, estudos esses embasados na Resolução

302, (CONAMA, 2002). A variação no nível do reservatório foi verificada de acordo com a diferença apresentada entre cada amostra, chegando aos valores máximos de -0,54m a 0,54m. Assim como a variação no nível do reservatório os limites dos níveis do canal de fuga também foram definidos através das verificações na base de dados, sendo eles 587,16m a 589,75m. Por último, a variável que possui maior influência na decisão do operador em qual potência deve estar selecionada a máquina, a vazão afluyente da PCH foi definida a partir dos valores encontrados nas amostras da média dos últimos 70 anos conforme determinado pelas diretrizes de projetos de PCHs, chegando a valores compreendidos entre 4,1m³/s e 352,37m³/s.

No intuito de garantir uma eficiência alta na utilização dos equipamentos, os valores de trabalho das unidades geradoras deverão estar entre os estabelecidos nos limites apresentados na Tabela 10, garantindo a vida útil dos equipamentos da PCH e minimizando os riscos hidrológicos. O controlador nebuloso então deverá ser parametrizado de maneira adequada, afim de que possa tomar a melhor decisão de acordo com os critérios estipulados.

Seguindo as metodologias observadas na revisão bibliográfica foram definidas as formas que as funções de pertinência do controlador nebuloso deveriam apresentar. Visando um aumento na eficiência dessa metodologia foram realizadas pesquisas conforme as Tabelas 2 e 3. Cinco operadores de PCHs foram entrevistados para verificar os patamares das funções e concretizar a base de regras do controlador. Aliado a expertise desses operadores elaborou-se a Tabela 4 com informações reais de operação da PCH. Assim confirmaram-se alguns dados observados na Figura 23.

Tabela 2. Parcela das questões realizadas com os operadores da PCH em estudo

QUESTÃO 1:	QUAL O PROCEDIMENTO PARA A CONTINUIDADE DA OPERAÇÃO NA TROCA DE TURNO ENTRE VOCÊS (OPERADORES)?
QUESTÃO 2:	QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS QUE DEVEM SER ANALISADAS NO INÍCIO DE UM TURNO?
QUESTÃO 3:	QUAL O PROCEDIMENTO ADOTADO PARA VARIAR A POTÊNCIA SELECIONADA PARA A UNIDADE?
QUESTÃO 4:	QUAL O TEMPO APROXIMADO PARA VERIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS (NÍVEL DO RESERVATÓRIO E VAZÃO AFLUENTE)?
QUESTÃO 5:	DURANTE UM TURNO, QUANTAS VEZES SÃO ALTERADAS AS POTÊNCIAS DE SAÍDA DAS UNIDADES?
QUESTÃO 6:	QUAIS SÃO A MÁXIMA E A MÍNIMA VARIAÇÃO DE POTÊNCIA JÁ SELECIONADAS?
QUESTÃO 7:	QUAL O PROCEDIMENTO ADOTADO PARA PARTIR A MÁQUINA NO CASO DE ALGUMA CONTINGÊNCIA NO SISTEMA?
QUESTÃO 8:	QUANTOS MILÍMETROS DEVEM CHOVER PARA QUE OCORRA ALGUMA INFLÊNCIA SIGNIFICATIVA NO NÍVEL DO RESERVATÓRIO?
QUESTÃO 9:	A VARIAÇÃO NO NÍVEL DO RESERVATÓRIO É INFLUENCIADA PELA VAZÃO AFLUENTE?
QUESTÃO 10:	QUAIS SÃO OS VALORES CONSIDERADOS MUITO ALTOS PARA AS VAZÕES AFLUENTES?
QUESTÃO 11:	QUAL O PROCEDIMENTO ADOTADO QUANDO SE TEM UM AUMENTO REPENTINO NA VAZÃO AFLUENTE E CONSEQUENTEMENTE NO NÍVEL DO RESERVATÓRIO?
QUESTÃO 12:	A VARIAÇÃO NO NÍVEL DO RESERVATÓRIO É CAPAZ DE SER TÃO BRUSCA A PONTO DE SE PERDER GERAÇÃO?
QUESTÃO 13:	A QUEDA LÍQUIDA DA PCH É VERIFICADA CONTINUAMENTE?
QUESTÃO 14:	QUAIS SÃO OS PERÍODOS CONSIDERADOS DE CHUVA E DE ESTIAGEM DA REGIÃO?
QUESTÃO 15:	OS PERÍODOS DE CHUVA E DE ESTIAGEM SÃO SEMPRE OBSERVADOS NA MESMA ÉPOCA DO ANO?
QUESTÃO 16:	QUAIS AS CONTINGÊNCIAS MAIS FREQUENTES PARA INDISPONIBILIDADE DE MÁQUINAS?
QUESTÃO 17:	A OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO CONTEMPLA TODA A FAIXA PERMITIDA PELOS VALORES DE PROJETO?
QUESTÃO 18:	OS VALORES DE ABERTURA DO DISTRIBUIDOR MEDIDOS NO COMISSONAMENTO, SÃO COERENTES COM OS FORNECIDOS PELO FABRICANTE DA TURBINA ATRAVÉS DA CURVA DE COLINA?
QUESTÃO 19:	A OPERAÇÃO É REALIZADA NORMALMENTE PELO CONTROLE DE ABERTURA OU PELO CONTROLE DE POTÊNCIA? ALGUMA DIFERENÇA JÁ FOI OBSERVADA?

Tabela 3. Continuação da Tabela 2

QUESTÃO 20:	QUANDO A VAZÃO TURBINADA PELAS UNIDADES É PRÓXIMA DA VAZÃO AFLUENTE NO RESERVATÓRIO, CONSIDERANDO UMA POTÊNCIA NOMINAL DA PCH, QUANTO TEMPO LEVA PARA OCORRER UM DEFLEXIONAMENTO DE 5 METROS EM SEU NÍVEL?
QUESTÃO 21:	O NÍVEL DO CANAL DE FUGA SOFRE VARIAÇÕES RÁPIDAS OU LENTAS QUANDO COMPARADO COM O NÍVEL DO RESERVATÓRIO?
QUESTÃO 22:	QUAIS SÃO AS FAIXAS DE VAZÃO AFLUENTE QUE MAIS SE REPETEM AO LONGO DE UM ANO DE GERAÇÃO?
QUESTÃO 23:	O NÍVEL DO RESERVATÓRIO, O NÍVEL DO CANAL DE FUGA OU A VAZÃO AFLUENTE SÃO MAIS OBSERVADOS PARA A DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA DE SAÍDA DO GERADOR?
QUESTÃO 24:	OCORREM PARADAS NORMAIS DE MÁQUINA POR CAUSA DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO ESTAR ABAIXO DO PERMITIDO? CASO AFIRMATIVO, ELAS PODERIAM TER SIDO EVITADAS?
QUESTÃO 25:	QUAIS SÃO OS ERROS MAIS COMUNS DURANTE A OPERAÇÃO DE UMA PCH?
QUESTÃO 26:	A PROGRAMAÇÃO ENVIADA AO ONS NORMALMENTE É ATENDIDA?
QUESTÃO 27:	É PERCEPTÍVEL A VARIAÇÃO DO NÍVEL DO CANAL DE FUGA QUANDO DIFERENTES POTÊNCIAS DA PCH A JUSANTE ESTÃO SELECIONADAS?
QUESTÃO 28:	A DIFERENÇA DE TEMPO PARA A VARIAÇÃO NO NÍVEL DO RESERVATÓRIO, QUANDO CONSIDERADAS A VAZÃO E POTÊNCIA CONSTANTES É DIFERENTE PARA PATAMARES DIVERSOS?
QUESTÃO 29:	QUAIS SÃO OS DADOS QUE PODERIAM SER MELHORADOS PARA AUXILIAR NA OPERAÇÃO EM TEMPO REAL DA PCH?
QUESTÃO 30:	CASO FOSSE IMPLANTADO UM SISTEMA DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO PARA SE DETERMINAR A POTÊNCIA SELECIONADA NA MÁQUINA, SERIA DE USO CONTINUO?

Alguns questionamentos foram operacionais, como a Questão 1 por exemplo para poder concluir se um curto espaço de tempo poderia afetar o desempenho da planta. Já outras respostas foram incisivas para a elaboração da base de regras, como a questão 23 que define se a potência de saída do geradora deve ser PMB, PB, PM, PA ou PMA.

Tabela 4. Apresentação dos dados durante a operação em tempo real no período de 90 dias

Queda (m)	Rend [%]	P [MW]	Q[m³/s]	Gate [°]	Abert. Dist (%)
41,00	93,42	12,65	33,69	34,00	85%
41,00	92,15	12,97	34,94	36,00	90%
41,00	91,94	11,21	30,46	30,00	75%
41,00	91,07	13,29	36,14	38,00	95%
41,00	90,55	10,70	29,50	29,00	73%
41,00	90,12	13,59	37,30	40,00	100%
42,00	93,51	13,07	34,04	34,00	85%
42,00	93,04	11,76	30,93	30,00	75%
42,00	92,32	13,42	35,32	36,00	90%
42,00	91,73	11,22	29,93	29,00	73%
42,00	91,10	13,75	36,53	38,00	95%
42,00	90,27	10,70	28,93	28,00	70%
42,00	90,00	14,06	37,70	40,00	100%
43,00	94,51	13,12	33,08	32,00	80%
43,00	93,69	12,30	31,36	30,00	75%
43,00	93,34	13,50	34,38	34,00	85%
43,00	92,48	11,74	30,36	29,00	73%
43,00	92,21	13,88	35,69	36,00	90%
43,00	91,00	11,18	29,33	28,00	70%
43,00	90,96	14,21	36,91	38,00	95%
44,00	94,50	13,59	33,44	32,00	80%
44,00	94,03	12,82	31,77	30,00	75%
44,00	93,12	13,93	34,74	34,00	85%
44,00	93,10	12,28	30,79	29,00	73%
44,00	92,00	14,32	36,05	36,00	90%
44,00	91,68	11,67	29,74	28,00	70%
44,00	90,88	14,68	37,29	38,00	95%
44,00	90,27	11,15	28,76	27,00	68%
45,00	94,35	14,02	33,79	32,00	80%
45,00	94,30	13,32	32,17	30,00	75%
45,00	93,65	12,81	31,21	29,00	73%
45,00	92,96	14,38	35,10	34,00	85%
45,00	92,31	12,19	30,16	28,00	70%
45,00	91,82	14,78	36,42	36,00	90%
45,00	90,90	11,63	29,15	27,00	68%
45,00	90,75	15,16	37,67	38,00	95%
46,00	94,53	13,82	32,56	30,00	75%
46,00	94,13	14,44	34,12	32,00	80%
46,00	94,02	13,33	31,61	29,00	73%
46,00	92,96	12,73	30,59	28,00	70%
46,00	92,84	14,84	35,46	34,00	85%
46,00	91,69	15,26	36,80	36,00	90%
46,00	91,61	12,12	29,54	27,00	68%
46,00	90,58	15,63	38,05	38,00	95%
46,00	90,27	11,58	28,54	26,00	65%

Analisando a Tabela 4 é possível comprovar a veracidade da curva de colina da turbina e se pode ter uma ideia do comportamento real da eficiência com que está sendo operada a PCH, pois é possível visualizar diferentes patamares de geração e outras variáveis simultaneamente. Através desses valores se pode quantificar as funções de pertinência apresentadas no capítulo 6, além de possibilitar as definições relacionadas com cada variável de entrada.

Utilizando das revisões bibliográficas pesquisadas, das análises da base de dados e do conhecimento especialista dos operados foi possível a elaboração final das funções de pertinência e do conjunto de regras nebuloso utilizados no próximo capítulo para as simulações.

O resultado final desta análise é um sistema de apoio à tomada de decisão nebuloso, que foi simulado utilizando a ferramenta de lógica nebulosa presente no Software Matlab versão R2010B.

5.1 SIMULAÇÕES

Amostras oriundas da base de dados elaborada para desenvolvimento deste sistema de apoio à tomada de decisão forneceram a capacidade de simular a operação da planta da PCH em questão, gerando um controlador com características que podem ser observadas a seguir. Foi estabelecido o método proposto por Mandani para as simulações desenvolvidas no trabalho. A quantidade e o formato das funções de pertinência estabelecidas para as simulações são descritas a seguir.

5.1.1 Variáveis de Entrada:

A Figura 24 mostra as funções de pertinência adotadas para a variável “Nível do Reservatório”, divididas em NRMB (nível do reservatório muito baixo), NRB (nível do reservatório baixo), NRM (nível do reservatório médio), NRA nível do (reservatório alto), NRMA (nível do reservatório muito alto). Como exemplo para definição dos valores adotadas nas funções de pertinência pode-se citar o NRMB sendo 630m e o NRMA

635m, valores esses estipulados dentro das restrições hídricas do reservatório e disponíveis na base de dados da PCH. A quantidade e o formato das funções de pertinência foram embasadas em artigos já publicados anteriormente como em (NIIMURA; YASUDA; YOKOYAMA, 1995). Os patamares e as definições adequadas para as variáveis linguísticas internas foram resultados das entrevistas com os operadores, que devido ao longo período de conhecimento da planta puderam quantificar e qualificar os respectivos valores. Os patamares específicos de cada variável são complexos de se obter por meio de apenas uma resposta do questionário, pois todas as variáveis estão relacionadas entre si, com intensidades diferentes, mas construíram-se os gráficos de modo a equalizar respostas de perguntas, por exemplo.

Os patamares internos da variável “variação no nível do reservatório”, Figura 27, são agrupamentos das respostas referente as questões 2,3, 8, 9 e 11.

O nível do canal de fuga, queda líquida e variação no nível do reservatório tiveram o mesmo tratamento da variável nível do reservatório, por se tratarem de variáveis com a mesma grandeza, diferenciando-se apenas em escala.

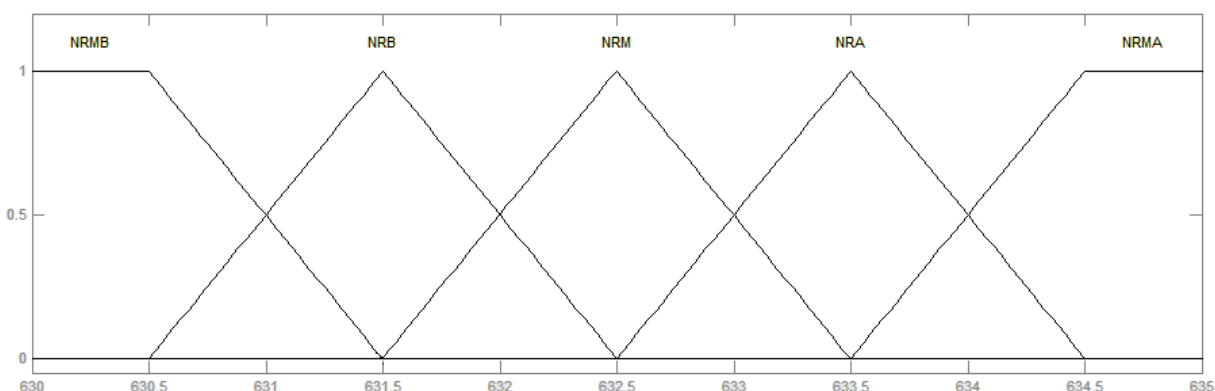


Figura 24. Nível do Reservatório

FONTE: elaborada pelo autor

O “Nível do Canal de fuga” tem como variáveis o NJMB (nível do canal de fuga muito baixo), NJB (nível do canal de fuga baixo), NJM (nível do canal de fuga médio), NJA (nível do canal de fuga alto), e o NJMA (nível do canal de fuga muito alto) (Figura 25). Os valores extremos dessa variável foram obtidos a partir da base de dados disponível para esta dissertação, sendo eles observados na Tabela 9.

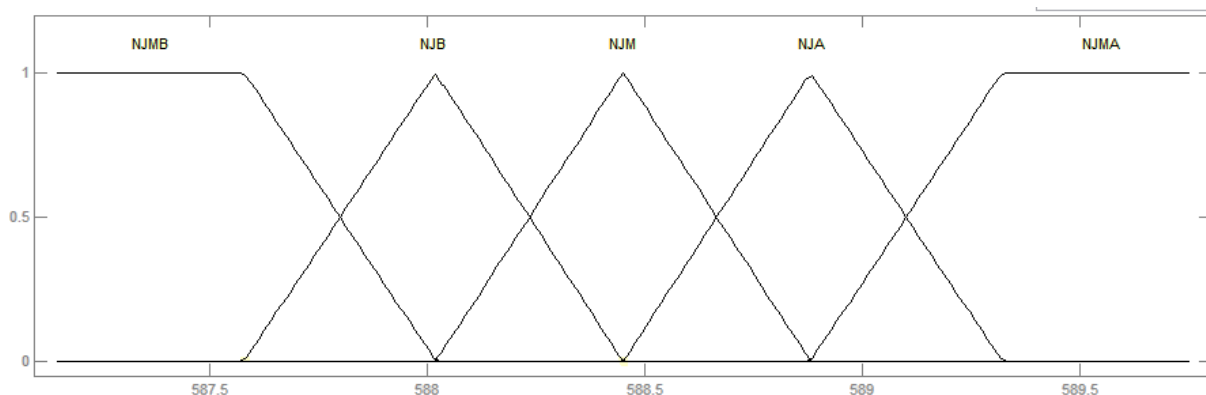


Figura 25. Nível do Canal de Fuga

FONTE: elaborada pelo autor

A “Queda Líquida” é dada por NLMP (queda líquida muito pequena), NLP (queda líquida pequena), NLM (queda líquida media), NLG (queda líquida grande), e NLMG (queda líquida muito grande) (ver Figura 26). Os patamares extremos das funções de pertinência desta variável foram calculados a partir da diferença máxima e mínima dos valores entre o nível do reservatório e nível do canal de fuga, considerando as perdas hidráulicas de 1,44m em cada valor mostradas no Capítulo 2.

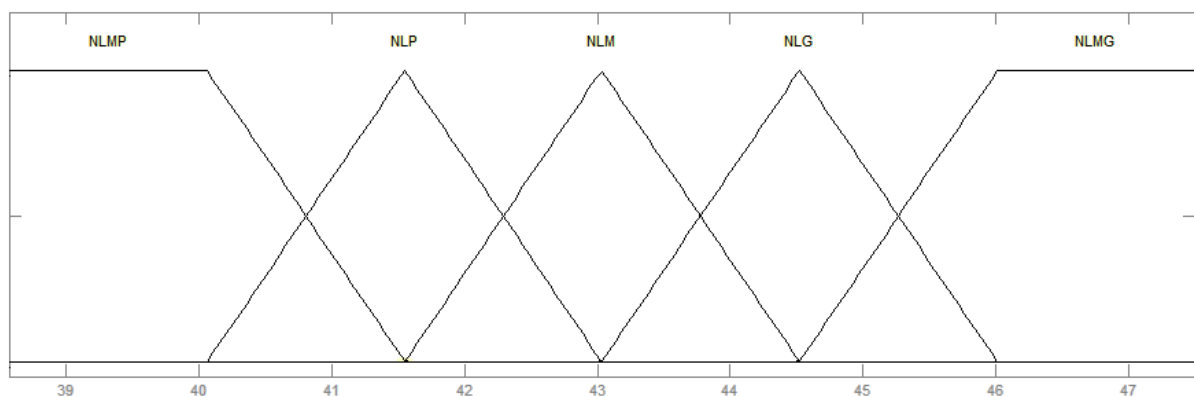


Figura 26. Queda Líquida

FONTE: elaborada pelo autor

A “variação do Nível do Reservatório” é dada por DNMB (variação do nível muito baixa), DNB (variação do nível baixa), DNM (variação do nível média), DNA (variação do nível alta), (variação do nível muito alta) (ver Figura 27). Seus valores

foram calculados pela diferença de nível a cada hora e os patamares internos das funções de pertinência como o DNB, DNM e DNA definidos pelos operadores, pois apenas o conhecimento ao especialista dessa planta poderia levar a quantificação das variações de desempenho.

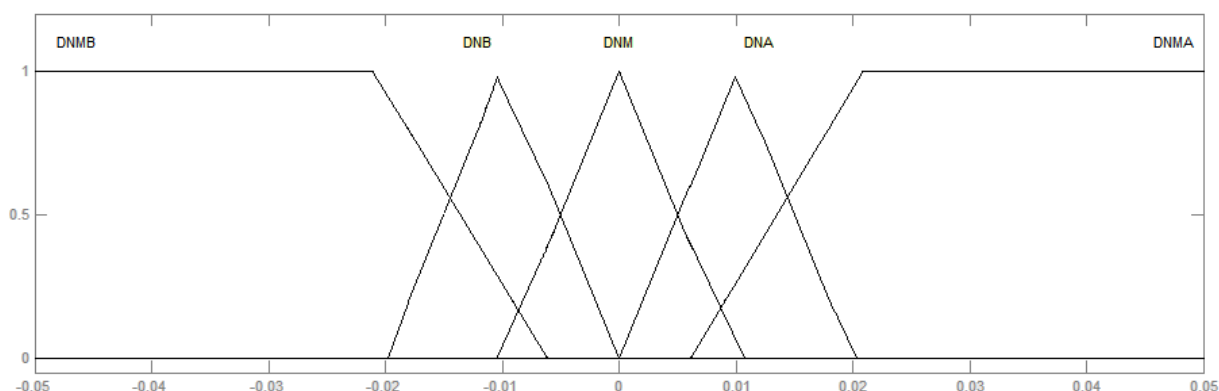


Figura 27. Variação no Nível do Reservatório

FONTE: elaborada pelo autor

Na Figura 28 tem-se as funções de pertinência para a Vazão Afluente, QMB (vazão muito baixa), QB (vazão baixa), QM (vazão média), QA (vazão alta), e QMA (vazão muito alta).

A “vazão afluyente” foi a variável que tanto os operadores quanto os dados históricos indicaram como sendo de possíveis variações em maior grau, pois foi notado que os valores poderiam variar bruscamente em períodos de uma hora. Foram evidenciados pelas respostas das Questões 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 23 e 25 que o comportamento desta variável é diferente das outras.

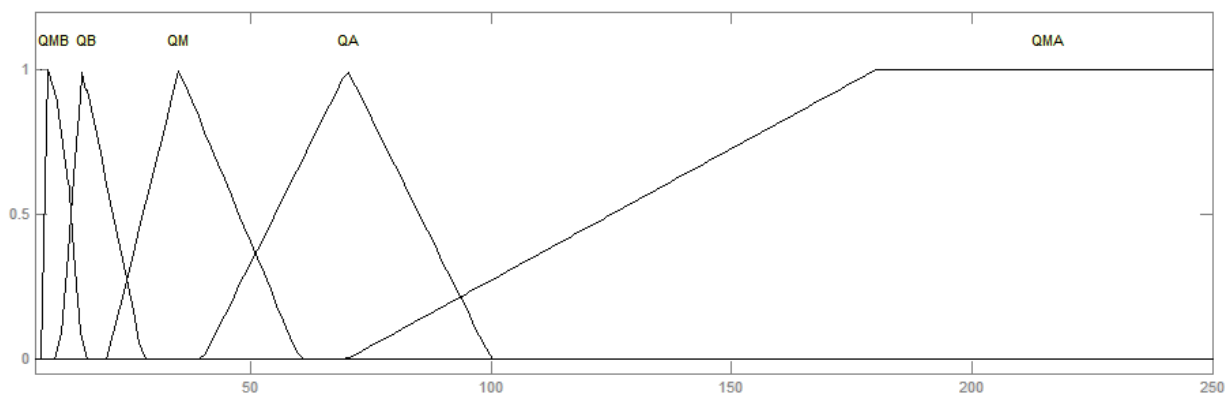


Figura 28. Vazão Afluente

FONTE: elaborada pelo autor

5.1.2 Variável de Saída

Para a “Potência Seleccionada” foram adotadas as funções de pertinência PMB (potência muito baixa), PB (potência baixa), PM (potência média), PA (potência alta), e PMA (potência muito alta), conforme mostra a Figura 29. Os valores máximos e mínimos das variáveis se adequaram à faixa de operação disponível no Diagrama de Colina, Figura 23, sendo eles 5 e 15 MW respectivamente. Os valores intermediários seguiram os padrões encontrados na revisão bibliográfica, como em (NIIMURA; YASUDA; YOKOYAMA, 1995), (MOEINI R.; AFSHAR A.; AFSHAR, 2010) e (RUSSEL, S. O.; CAMPBELL, 1996). Porém, algumas considerações dos operadores influenciaram na quantidade de funções de pertinência dessa variável, pois a quantidade de cinco funções de pertinência foram consideradas suficientes para quantificar esta variável.

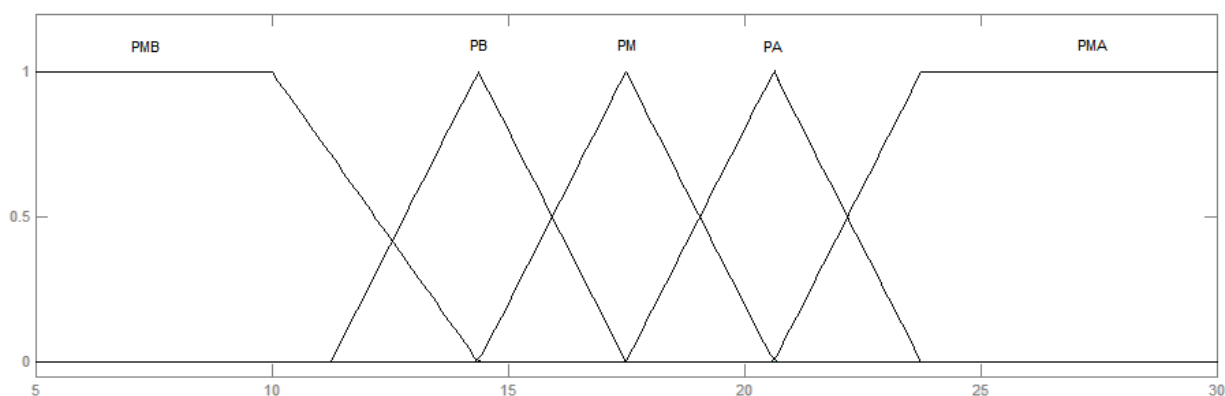


Figura 29. Potência Seleccionada através do Controlador Nebuloso

FONTE: elaborada pelo autor

A finalização das simulações deu-se após a criação do conjunto de regras elaborado para o controlador nebuloso. As regras de controle utilizando as variáveis de entrada são simples e qualitativas, e podem ser escritas como:

IF (nível da água do reservatório) = alto
 AND (nível do reservatório) = médio
 THEN (potência seleccionada) = muito alta

Adotando a mesma leitura citada acima é possível compreender todas as regras criadas para o sistema de apoio à tomada de decisão.

Na Tabela 5 é possível verificar o conjunto de regras que envolve as variáveis de entrada (Nível do Reservatório e Vazão Afluente).

Tabela 5. Primeiro Conjunto de Regras

		NÍVEL DO RESERVATÓRIO					
		1	NRMB	NRB	NRM	NRA	NRMA
VAZÃO AFLUENTE	QMB	PMB	PB	PM	PA	PA	
	QB	PM	PM	PA	PA	PMA	
	QM	PM	PA	PA	PMA	PMA	
	QA	PA	PA	PMA	PMA	PMA	
	QMA	PA	PMA	PMA	PMA	PMA	

Através do conhecimento adquirido na revisão bibliográfica e principalmente em (NIIMURA; YASUDA; YOKOYAMA, 1995), (MOEINI R.; AFSHAR A.; AFSHAR, 2010) e (RUSSEL, S. O.; CAMPBELL, 1996) e com auxílio do conhecimento especialista informado pelos operadores nos questionários aplicados, determinaram-se os conjuntos de regras. Na Tabela 6 é possível verificar o segundo conjunto de regras.

Tabela 6. Segundo Conjunto de Regras

		QUEDA LÍQUIDA					
		2	NLMP	NLP	NLM	NLG	NLMG
VAZÃO AFLUENTE	QMB	PMB	PB	PM	PA	PMA	
	QB	PB	PM	PA	PA	PMA	
	QM	PM	PA	PA	PA	PMA	
	QA	PA	PA	PA	PMA	PMA	
	QMA	PMA	PMA	PMA	PMA	PMA	

Tabela 7. Terceiro Conjunto de Regras

		NÍVEL JUSANTE					
		3	NJMB	NJB	NJM	NJA	NJMA
VAZÃO AFLUENTE	QMB	PMB	PB	PM	PM	PA	
	QB	PB	PB	PM	PA	PA	
	QM	PM	PM	PA	PA	PMA	
	QA	PM	PA	PA	PMA	PMA	
	QMA	PA	PA	PMA	PMA	PMA	

Tabela 8. Quarto Conjunto de Regras

		NÍVEL DO RESERVATÓRIO					
		4	NRMB	NRB	NRM	NRA	NRMA
Variação Nível Reservatório	DNMB	PMB	PB	PM	PA	PA	
	DNB	PB	PM	PM	PA	PA	
	DNM	PM	PM	PA	PA	PMA	
	DNA	PM	PM	PA	PMA	PMA	
	DNMA	PM	PA	PMA	PMA	PMA	

Nas Tabelas 7 e 8 é possível observar outros conjuntos de regras do controlador nebuloso. As Tabela 9 e 10 representam os patamares das variáveis do controlador nebuloso.

Tabela 9. Representação das variáveis e dos patamares de entrada do controlador nebuloso

VAZÃO (m³/s)		PATAMARES			
QMB	VAZÃO MUITO BAIXA	7,47	7,47	10,00	15,00
QB	VAZÃO BAIXA	10,00	15,00	27,50	
QM	VAZÃO MÉDIA	20,00	35,00	60,00	
QA	VAZÃO ALTA	40,00	70,00	100,00	
QMA	VAZÃO MUITO ALTA	70,00	180,00	352,37	352,37
VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO (m)					
DNMB	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO RÁPIDA PARA BAIXO	-0,54	-0,54	-0,02	-0,01
DNB	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO PARA BAIXO	-0,02	-0,01	0,00	
DNM	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO NULA	-0,01	0,00	0,01	
DNA	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO PARA CIMA	0,00	0,01	0,02	
DNMA	VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO RÁPIDA PARA CIMA	0,01	0,02	0,54	0,54
QUEDA LÍQUIDA (m)					
NLMP	QUEDA LÍQUIDA MUITO PEQUENA	38,57	38,57	40,93	41,85
NLP	QUEDA LÍQUIDA PEQUENA	40,90	41,85	42,78	
NLM	QUEDA LÍQUIDA MÉDIA	41,90	42,78	43,71	
NLG	QUEDA LÍQUIDA GRANDE	42,80	43,71	44,63	
NLMG	QUEDA LÍQUIDA MUITO GRANDE	43,70	44,63	47,50	47,50
NÍVEL DO RESERVATÓRIO (m)					
NRMB	NÍVEL DO RESERVATÓRIO MUITO BAIXO	630,00	630,00	630,50	631,50
NRB	NÍVEL DO RESERVATÓRIO BAIXO	631,00	631,50	632,50	
NRM	NÍVEL DO RESERVATÓRIO MÉDIO	631,00	632,50	633,50	
NRA	NÍVEL DO RESERVATÓRIO ALTO	633,00	633,50	634,50	
NRMA	NÍVEL DO RESERVATÓRIO MUITO ALTO	634,00	634,50	635,00	635,00
NÍVEL DO CANAL DE FUGA (m)					
NJMB	NÍVEL DO CANAL DE FUGA MUITO BAIXO	587,00	587,15	587,58	588,02
NJB	NÍVEL DO CANAL DE FUGA BAIXO	588,00	588,02	588,45	
NJM	NÍVEL DO CANAL DE FUGA MÉDIO	588,00	588,45	588,88	
NJA	NÍVEL DO CANAL DE FUGA ALTO	588,00	588,88	589,32	
NJMA	NÍVEL DO CANAL DE FUGA MUITO ALTO	589,00	589,32	589,75	589,75

Após definido o valor da variável de saída pelo controlador nebuloso o operador será capaz de tomar decisão de qual potência deverá ser selecionada para a unidade

geradora, sempre respeitando os procedimentos de rede do ONS e as políticas de operação da empresa responsável pela concessão da PCH.

Tabela 10. Variáveis de saída e patamares do controlador nebuloso

POTÊNCIA (MW)		PATAMARES			
PMB	POTÊNCIA MUITO BAIXA	5,2	5,2	10	14,375
PB	POTÊNCIA BAIXA	11,3	14,375	17,5	
PM	POTÊNCIA MÉDIA	14,4	17,5	20,625	
PA	POTÊNCIA ALTA	17,5	20,625	23,75	
PMA	POTÊNCIA MUITO ALTA	20,6	23,75	30	30

5.2 OTIMIZAÇÃO DO CONTROLADOR NEBULOSO

Mesmo com o controlador nebuloso funcionando adequadamente, uma lacuna para uma possível otimização foi observada, pois a variação dos patamares das variáveis poderiam representar em uma otimização do controlador. Então, decidiu-se aplicar a teoria de algoritmo genético nos patamares das funções de pertinência para otimizar a operação e a geração de energia elétrica (MILIVOJEVIĆ; DIVAC; VUKOSAVIĆ; VUČKOVIĆ; MILIVOJEVIĆ, 2009), adotando os critérios a seguir:

- Foi estabelecido que os parâmetros das funções de pertinência sofreriam variações percentuais, tanto para a esquerda de sua função de pertinência quanto para a direita. Os parâmetros externos não sofreram variações devido a restrições operacionais, como mostra a Figura 30.

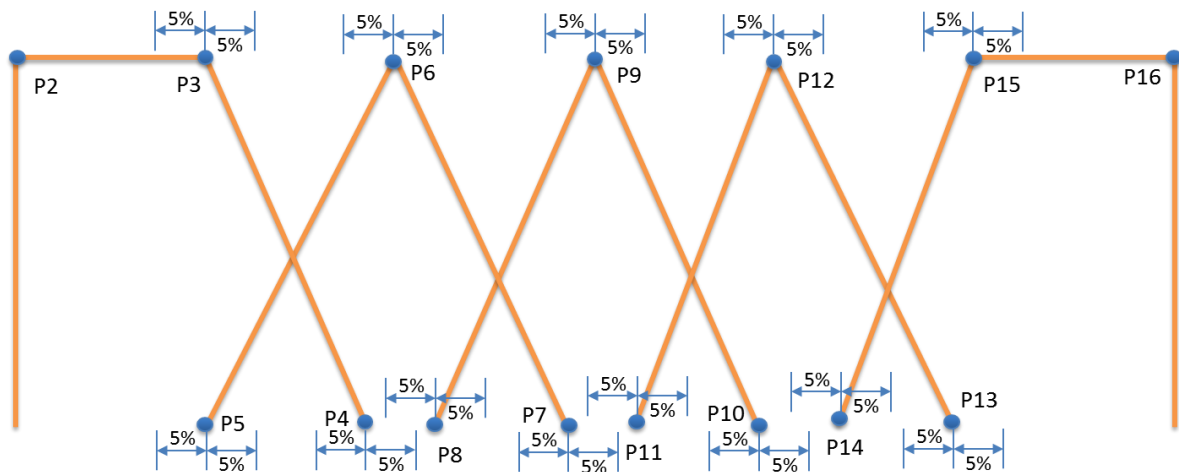


Figura 30 - Variação máxima ocorrida para todos os parâmetros de todas as funções de pertinência.

FONTE: elaborada pelo autor

- A seguir converteu-se cada parâmetro para um conjunto de 10 bits, totalizando em um indivíduo (cromossomo) com 900 bits.
- Após obtido o resultado desejado, converte-se o resultado para um número inteiro e se aplica a função $Z(X)$, como mostra a Figura 31.

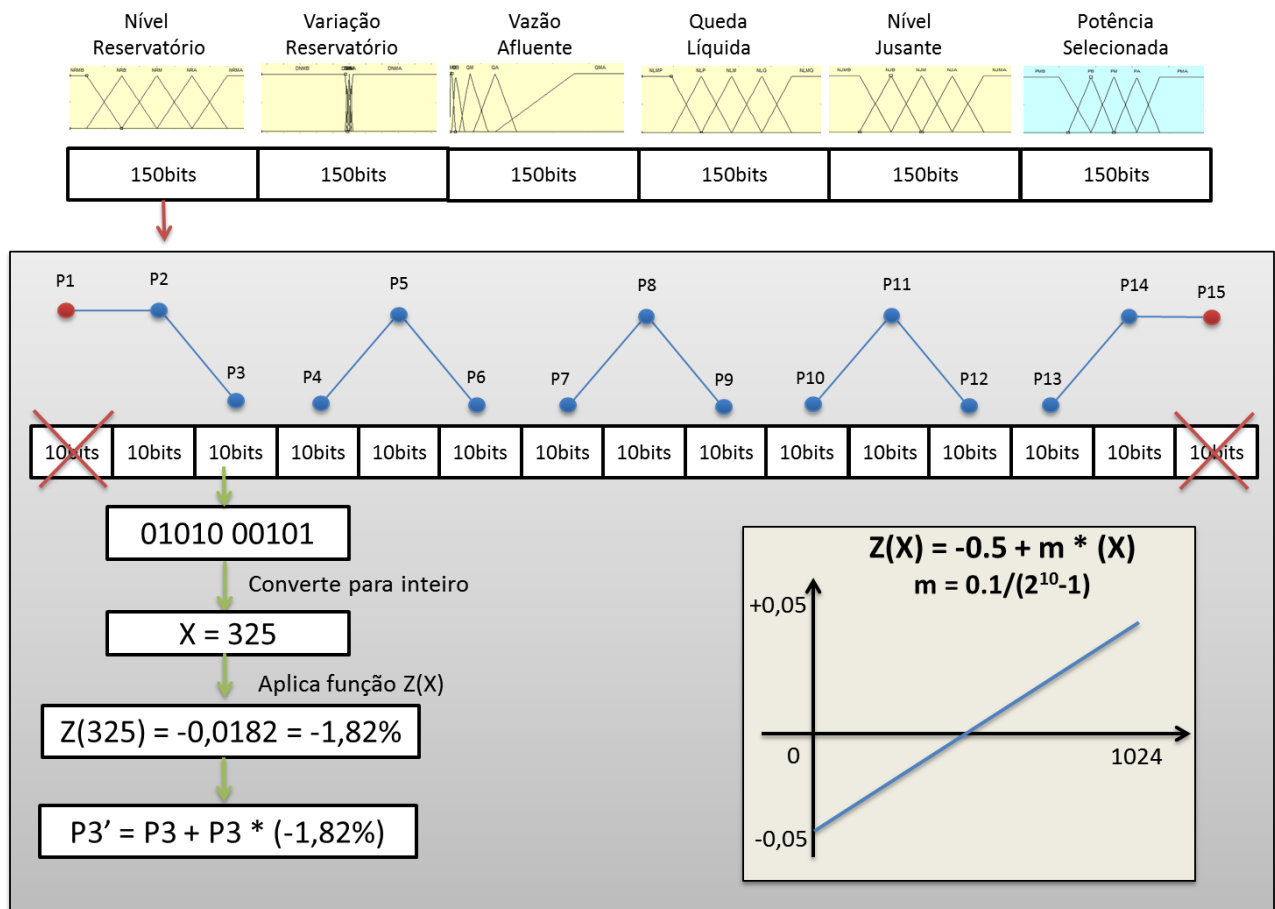


Figura 31 - Conversão dos parâmetros das funções de pertinência.

FONTE: elaborada pelo autor

A seguinte sequência foi estabelecida para a otimização do controlador via algoritmo genético.

1. Gera População Inicial de 50 indivíduos aleatoriamente;
2. Avalia População;
3. Ordena a População de forma decrescente (melhor para pior);
4. Seleção:
 - a. Seleciona 35% dos melhores;
 - b. Seleciona 10% dos medianos;
 - c. Seleciona 5% dos piores;
5. Cruzamento:

- a. A partir da taxa de crescimento, adiciona novos filhos na população aplicando os seguintes passos:
 - i. Escolhe aleatoriamente dois indivíduos (pai e mãe);
 - ii. Escolhe aleatoriamente um entre três métodos de cruzamento: 1 Ponto, 2 Pontos ou Uniforme;
 - iii. Efetua o cruzamento;
- 6. Mutação:
 - a. A partir da taxa de mutação, adiciona novos filhos na população aplicando os seguintes passos:
 - i. Escolhe aleatoriamente um indivíduo;
 - ii. Inverte 400 bits desse indivíduo (escolhidos aleatoriamente);
- 7. Volta para o passo 2, até que o número de gerações seja igual a 10.000.

CAPÍTULO 6

ANALISE DOS RESULTADOS

Considerando os resultados obtidos pelo sistema de apoio à tomada de decisão no capítulo anterior, foi possível avaliar o desempenho da metodologia e do controlador nebuloso desenvolvidos.

As amostras envolvidas no desenvolvimento deste trabalho excluíram valores que pudessem comprometer os resultados obtidos, tais como:

- Contingências no sistema da PCH e do SIN que pudessem ser resultar em alguma parada de máquina indesejada;
- Paradas de máquinas propositais ocasionadas por motivos de manutenção;
- Desligamentos solicitados pelo ONS.

A potência nebulosa resultante do controlador pode ser observada na Figura 29.

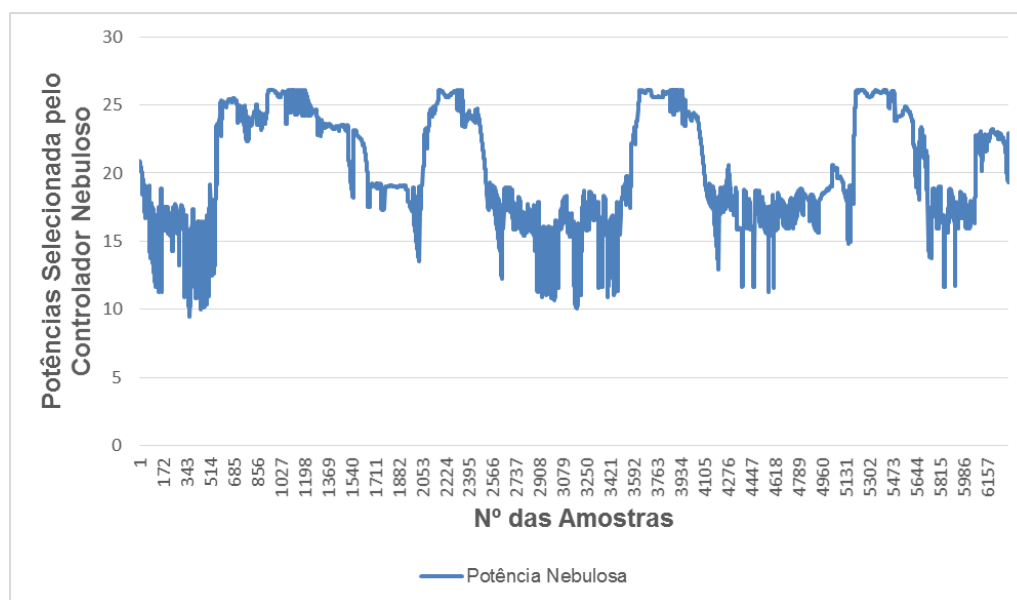


Figura 32. Potências Seleccionadas pelo Controlador Nebuloso

FONTE: elaborada pelo autor

Utilizando toda a base de dados foram comparadas também a Potência Seleccionada pelo Operador durante a operação real da PCH com a Potência Seleccionada pelo Controlador Nebuloso como consta na Figura 29.

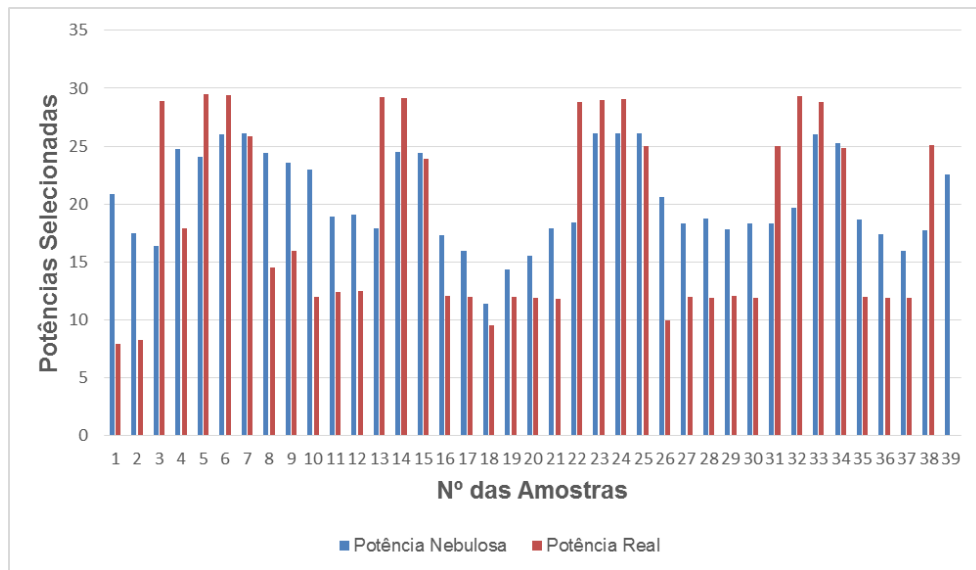


Figura 33. Potência Real Seleccionada pelo Operador e Potência Nebulosa sugerida pelo Controlador

FONTE: elaborada pelo autor

A Figura 33 compara as Potências Reais Seleccionadas pelo operador da PCH e as Potências Seleccionadas pelo Controlador Nebuloso, para as primeiras 40 amostras da base de dados coletados. Percebe-se nitidamente uma diferença considerável entre a decisão real tomada pelo operador e aquela que seria sugerida pelo sistema de apoio à decisão nebuloso proposto. A Figura 34 mostra a diferença entre estas duas variáveis, calculada através da fórmula 16, para as mesmas 40 amostras anteriores.

$$R = P_f - P_r \quad (16)$$

Onde,

R é a diferença entre as potências;

Pf é a potência selecionada pelo controlador nebuloso;

Pr é a potência real selecionada pelo operador.

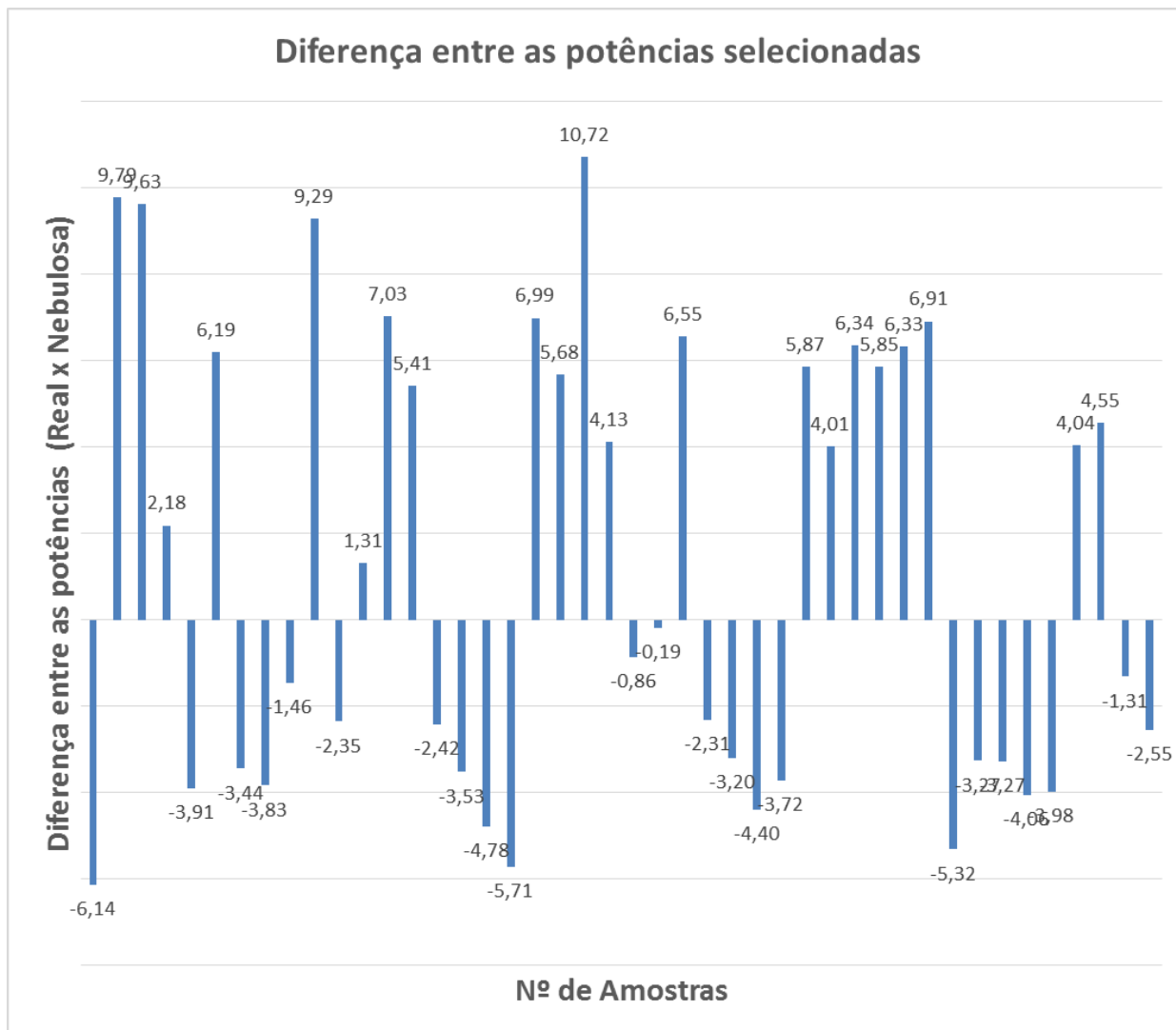


Figura 34. Diferença entre a Potência Selecionada pelo Operador e a Potência Selecionada pelo Controlador Nebuloso

FONTE: elaborada pelo autor

Considerando-se o processamento das 37854 amostras, e acumulando-se os módulos absolutas entre as duas tomadas de decisão de operação, chegou-se a resultados promissores. A energia elétrica acumulada gerada por meio do controle manual realizado pelo operador da Pequena Central Hidrelétrica foi de aproximadamente 121,750GWh. Já com o suporte decisório do sistema nebuloso o total

de energia gerada prevista caso as máquinas fossem operadas dentro dos limites sugeridos pelo sistema desenvolvido seria de 127,910GWh, representando um acréscimo de 5% na geração. Além de a energia gerada ter sido mais elevada, a geração foi mais eficiente garantindo uma vida útil maior dos equipamentos, pois é perceptível que a potência selecionada pelo controlador nebuloso não teve alterações tão bruscas quando comparada com a operação real, fato observado na Figura 33. Impactando ao final da análise das amostras em um resultado de energia total foi maior.

Considerando que a energia vendida desta PCH fosse comercializada a um valor de R\$150,00/MWh o aumento de geração vinculado ao controlador nebuloso representaria um montante de aproximadamente R\$ 924.000 em um ano. Considerando que grande parte das concessões das PCHs construídas no início do século XXI possuem uma concessão de 20 a 30 anos, ao final deste período seria obtido um lucro de mais de 18 milhões de reais.

Estabelecido o método para otimização das funções de pertinência foi possível chegar a patamares mais elevados de geração como mostra a Figura 35.

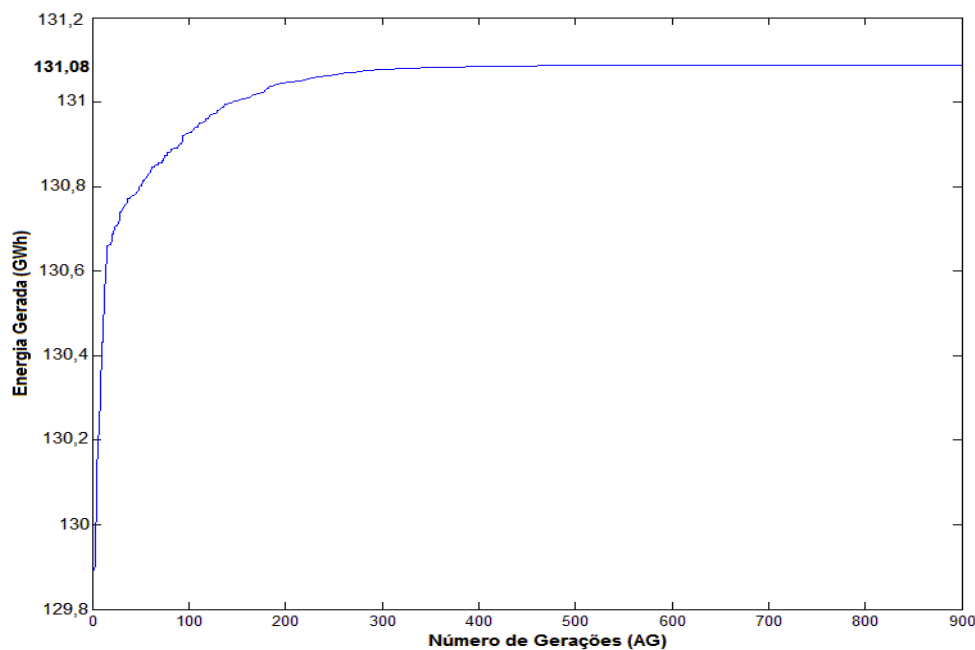


Figura 35 - Geração de energia final após a otimização das funções de pertinência.

FONTE: elaborada pelo autor

O resultado final do controlador nebuloso otimizado obtido, refletiu em um aumento de geração de aproximadamente 2,4% quando comparado com o controlador nebuloso original, pois a energia total gerada foi de 131,086GWh. A Figura 36 apresenta o descolamento percentual que cada variável obteve após terem sido otimizadas.

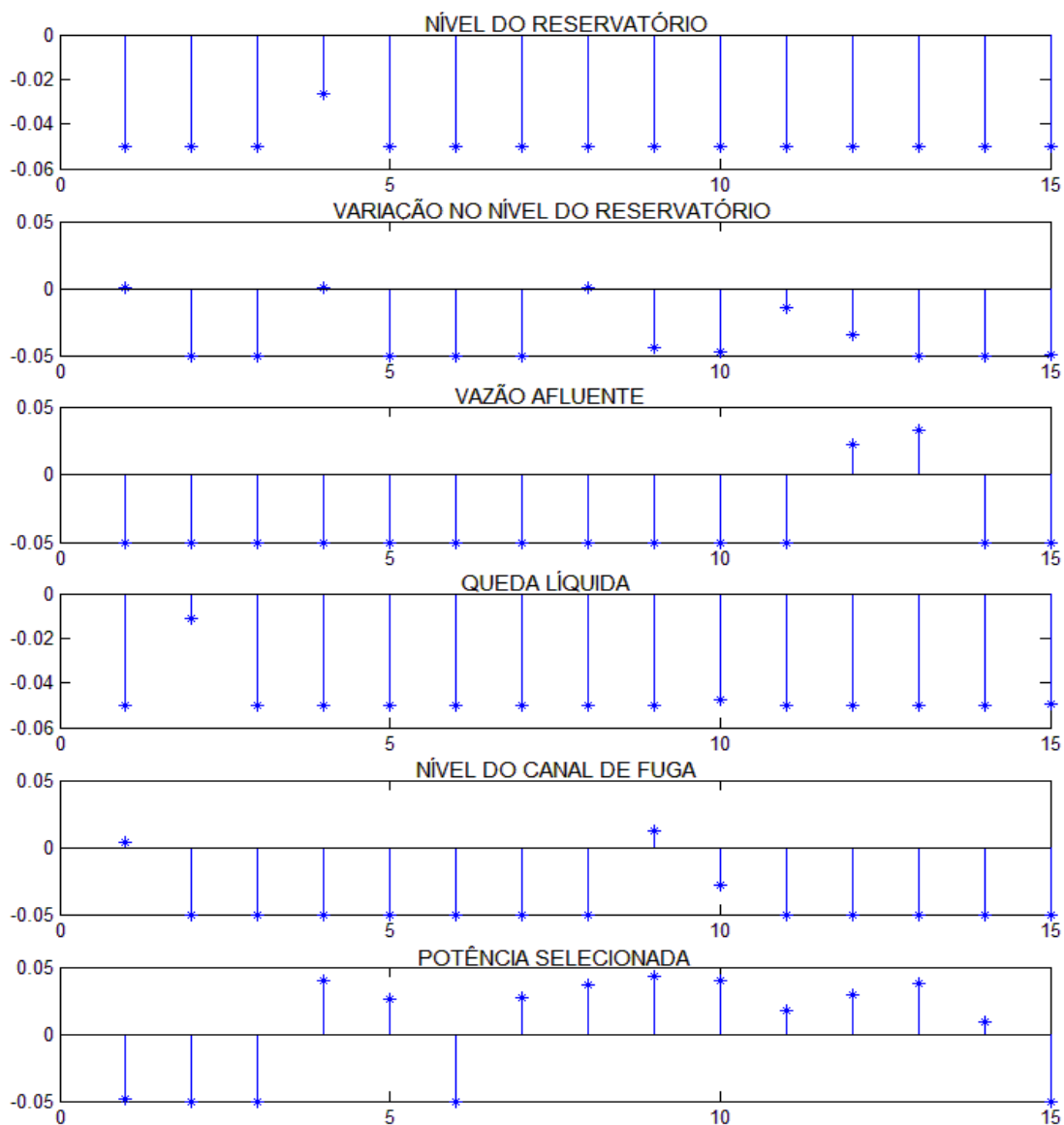


Figura 36 - Variação percentual de cada variável

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Como previsto na literatura, a lógica nebulosa se mostrou eficiente para a aplicação em um sistema de apoio à tomada de decisão na operação de uma PCH, afinal foram envolvidas variáveis estocásticas de nível de reservatório e vazão de água, trazendo também como consequência o controle de reservatório de uma Pequena Central Hidrelétrica. O trabalho envolvendo os conceitos obtidos na revisão bibliográfica com a expertise do conhecimento especializado de operadores de uma PCH foi reafirmou a aplicabilidade da lógica nebulosa em mais uma área tecnológica. O aumento de 5% no montante de energia elétrica gerada nesta PCH, quando extrapolado para um nível nacional pode representar um grande incremento de energia injetada no SIN.

A aplicação da teoria de algoritmos genéticos no controlador nebuloso mostrou-se uma alternativa interessante para otimização, pois foi possível incrementar em aproximadamente 2,4% a energia gerada pelo controlador nebuloso, aumentando a quantidade de energia elétrica injetada no SIN.

Através do aprimoramento proposto, a metodologia e as regras desenvolvidas neste trabalho se mostraram valiosas, pois foi evidenciado a possibilidade da utilização real deste sistema de apoio em outras PCHs no Brasil. Fato que pode ser de grande valia para a sociedade e para os empreendimentos, já que a ascensão do Brasil como uma potência emergente garante o aumento da demanda de energia elétrica. Sendo assim, cada Megawatt gerado de forma mais eficiente quando comparado com a operação realizada atualmente, é fundamental perante uma ampliação da capacidade de geração da Matriz Energética brasileira.

Por se tratarem de fontes renováveis de energia elétrica, as PCHs possuem ainda muitos incentivos fiscais para sua construção, sendo alguns deles os créditos de carbono, impostos reduzidos para a transmissão de sua energia através das linhas de

transmissão, agregado a isso, uma garantia de energia assegurada ao empreendedor torna muito mais atrativo o investimento privado nas PCHs.

Para trabalhos futuros, seria interessante a aplicação desta metodologia em uma planta simulada através do SDP. Outra questão interessante seria a abordagem em um sistema com várias PCHs em cascata, controlando várias gerações ao mesmo tempo, regulando assim diversos reservatórios que variam rapidamente.

A aplicação de um sistema de apoio à tomada de decisão desenvolvida a partir do aprendizado por redes neurais também possibilitaria um estudo com perspectivas de bons resultados.

A utilização de um controlador nebuloso para realizar o controle do regulador de velocidade, associado ao sistema de apoio à tomada de decisão despertaria grande interesse na comunidade científica e industrial.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Informações gerenciais. 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=531>>. Acesso em: 28 de jul. 2013.

CAVALLO, Alberto; DI NARDO, Armando; DI NATALE, Michele. A Fuzzy Decision Support System for an Hydraulic Application. In: IEEE Transactions – Università di Napoli, Napoli, 2007.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL. Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas. 2000. Disponível em: <<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=diretrizes%20para%20estudos%20e%20projetos%20de%20pequenas%20centrais%20hidrel%C3%A9tricas&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.elektrobras.com%2Ffelb%2Fservices%2FDocumentManagement%2FFileDownload.EZTSvc.asp>>. Acesso em: 02 de fev. 2013.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL. Manual de micro e pequenas centrais hidrelétricas. 1982.

CHIK, Muhammad N.; OTHMAN, Abdul B. A Decision Support System to Improve Production of Mini Hydropower Stations. 2011. In: The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2011), Shah Alam, Selangor, Malaysia, jun. 2011.

CICO GNA Marcelo. A. Sistema de suporte à decisão para o planejamento e programação de sistemas de energia elétrica. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, dez. 2003.

COEN, M. Machine Idrauliche. 1974.

COELHO, L. S. Fundamentos, potencialidades e aplicações de algoritmos evolutivos. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional. 2003 – Notas em matemática aplicada, p. 8-30.

CONAMA nº01. Critérios básicos e diretrizes gerais para avaliação do impacto ambiental, pp.2548-2549. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/>>

conteudo/conteudo.php?conteudo=985.> Curitiba, Paraná, Brasil. Acesso em: 30 de abr. 2012.

CONAMA nº06. Licenciamento ambiental de obras do setor de geração de energia elétrica. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=985>. Curitiba, Paraná, Brasil. Acesso em: 30 de abr. 2012.

CONAMA nº 279. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=985>. Curitiba, Paraná, Brasil. Acesso em: 30 de abr. 2012.

CONAMA 302. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. 2002. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/conama/302_02_areas_preservacao_reservatorio.pdf. Acesso em: 01 de mai. 2012.

COSTA, Denis C. L., Sistema de regulação em máquinas primárias. In: Revista Acadêmica e Científica FCAT, 2012 – Amazônia em Foco, Castanhal, v. 1, n.1, p. 30-45, jul./dez., 2012.

DUARTE, V. S. Teoria da decisão aplicada ao Planejamento da Operação do Sistema Hidrotérmico brasileiro. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

ENCINA, Anastácio S. A.; SANTOS, Erinaldo F.; CICOONA, Marcelo A.; FILHO Secundino S; OHISHI, Takaaki. Um critério de desempenho para despacho ótimo de unidades geradoras. In: SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM OPERAÇÃO DE CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2002, Foz do Iguaçu. p. 1-18.

FABIANI, André L. T.; OTA, José J.; SILVA, David T.; AKIL, Celso V. PERDA DE CARGA EM CIRCUITOS HIDRÁULICOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCH'S. In: VI simpósio brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008, Belo Horizonte.

FERNANDES, Edite. M. Estatística Aplicada. 1999. Disponível em <<http://www.norg.uminho.pt/emgpf/documentos/Aplicada.pdf>>. Acesso em: 15 de mar. 2013.

FOGEL, David B. Evolutionary computation: toward a new philosophy of machineintelligence. IEEE Press: Piscataway, New Jersey, USA, 1995.

GLATTFELDER, Adolf. H.; HUSER, Ludwig.; DÖRFLER, Peter; STEINBACH, Johann. Automatic Control for Hydroelectric Power Plants. Control Systems, Robotics and Automation – Vol. XVIII, Zürich, Switzerland, 2005.

GOMIDE, Fernando. A. C.; GUDWIN, Ricardo. R.; TANSCHKEIT, Ricardo. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/ifsa95.pdf>. Acesso em: 04 de abr. 2013.

HANMANDLU, M.; GOYAL, H.; KOTHARI, D. P. An Advanced Control Scheme for Micro Hydro Power Plants. 2006. IEEE Transactions. New Delhi, India. Department of Electrical Eng. IIT Delhi, 2006.

KJOLLE A. Hydropower in Norway, Mechanical Equipment. Research. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, dec. 2001. Disponível em: <<http://www.magnu.polymtl.ca/contenu/ressources/docDivers/doc/Turbines101.pdf>> Acesso em: 08 de set. 2012.

LIMA R. S. Padronização de projetos elétricos de pequenas centrais hidrelétricas. 2002. Dissertação de Mestrado em engenharia de energia – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, dez. de 2002.

LIRA, Sachiko A. Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com aplicações. Dissertação de Mestrado em Ciências – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, fev. de 2004.

MALUTTA, C. Método de apoio à tomada de decisão sobre adequação de aterros sanitários utilizando lógica fuzzy. 2004. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, dez. de 2004.

MEDEIROS, Anderson V.;MAITELLI, André L.; FILHO, Oscar G. otimização das funções de pertinência de um controlador nebuloso utilizando algoritmos genéticos. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MOEINI R.; AFSHAR A.; AFSHAR, M. H. Fuzzy rule-based model for hydropower reservoirs operation. 2010. In: International Journal of Electrical Power and Energy Systems 33. 2011. p. 171–178. Tehran, Iran University of Science and Technology, 2010.

MILIVOJEVIĆ, Nikola; DIVAC, D.; VUKOSAVIĆ, D.; VUČKOVIĆ, Dejan; MILIVOJEVIĆ, Vladimir. Computer-Aided Optimization in Operation Planning of Hydropower Plants – Algorithms and Examples. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics / Vol. 3 / No. 1, 2009 / pp. 273-297. 2009.

NASCIMENTO, José G. A. Considerações sobre Incentivos Regulatórios à Geração Descentralizada de Energia Elétrica no Brasil. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, dez. de 1999.

NIIMURA, Takahide; YOKOYAMA, Ryuichi. Water Level Control of Small-scale Hydro-Generating Units by Fuzzy Logic. In *IEEEJ National Convention Record*. University of British Columbia & Tokyo: Tokyo Metropolitan University, 1995. No. 2483.

OLIVEIRA, Patrícia C. R. P. N. Ajuste de regras e funções de pertinência utilizando algoritmos genéticos. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, jul. de 2004.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Definição da Modalidade da Operação de Usinas. 2013. Disponível em: <http://www.ons.org.br/integracao_sin/definicao_modalidade_de_operacao_de_usinas.aspx>. Acesso em: 12 de mar. 2013.

ORTEGA, N. R. S. Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina. 2001. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, dez. 2001.

PANIGRAHI D. P.; MUJUMDAR P. P. Reservoir Operation Modelling with Fuzzy Logic. In: Water Resources Management, 2000. Kluwer Academic Publishers. 2000. p. 89-109.

RAMANI, Bay V.; TAMJIS, Mohamad R. Fuzzy Logic Model on Operation and Control of Hydro-Power Dams in Malaysia. In: International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, Vol. 4, No. 1, pp. 31-40, 2007.

RESENDE, Márcio F. A variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestação pelo *limnoperna fortunei*. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, dez. de 2007.

RIBEIRO, J. P. Uma investigação de grandezas hidrodinâmicas no tubo de sucção de turbinas com rotor Francis operando em cargas variáveis. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia e da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, set. de 2007.

RUSSEL, Samuel O.; CAMPBELL, Paul. F. Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 1996.122, pp165-170, 1996.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. *Artificial Intelligence – A Modern Approach*. 1995. Disponível em: <<http://stpk.cs.rtu.lv/sites/all/files/stpk/materiali/MI/Artificial%20Intelligence%20A%20Modern%20Approach.pdf>>.

SOUZA, Zulcy. As Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil a partir da Década de 80. – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

STURM, Wilerson. Avaliação do potencial de uso da lógica fuzzy para a identificação de indicadores de competência no currículo lattes. Curitiba, 2005. Disponível em: <http://www.ppgte.cefetpr.br/semanatecnologia/comunicacoes/logica_fuzzy_na.pdf>. Acesso em: 03 de jun. 2013.

Takagi, T.; Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of System and its Application to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Fev. 1985, pp 116-132.

TIAGO, Geraldo L.; NOGUEIRA, Fábio. As Novas Diretrizes da Aneel para o Enquadramento das Pequenas Centrais Hidrelétricas – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

TIAGO, Geraldo L.; ATLOGA, José G.; FERRARI, Jason T.; GALHARDO, Camila R. A evolução histórica das pequenas centrais hidrelétricas no Brasil. In: V Simpósio de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Florianópolis, 2006 – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

TOMSOVIC, K; CHOW, M.Y. Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems. 2000. *IEEE-PES Winter Meeting*, Singapore, jan, 2000.

WALKER, J. H. Large Synchronous Machines, Design, Manufacture and Operation. 1981. University of Oxford press. Oct, 1981.

WU, Daniel; KARRAY, Fakhreddine; SONG, Insop. Water Level Control by Fuzzy Logic and Neural Networks. 2009. Disponível em: <<http://pami.uwaterloo.ca/pub/dwu/SSD05-SAC-86.pdf>>. Acesso em: 01 de dez. 2012.

YEH, W. Reservoir management and operation models: a state of the art review. 1985. *Water Resources journal*. 1985. p. 1797–818, jan, 1985.

ZADEH, L. A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Berkeley, jan. 1973, pp – 28 – 44.

ZHOU, Muxun; WANG, Zhengchu. New genetic algorithm for hydropower plants unit commitment optimization. In: *Sixth International Conference on Natural Computation*. 2010. Yantai, China, p. 2395 – 2399, aug. 2010.

ANEXO A – Currículos dos operadores entrevistados

Thiago Ferreira Fonseca



Brasileiro, 31 anos, casado, sem filhos.

Rua Dep. Joaquim José Pedrosa, 738– Apto.21, Cabral, Curitiba - PR.

Contato: (41) 3311-2456 ou (41) 9979-4052 / Email: thferreirafonseca@gmail.com

Objetivo:

Atuar no ramo de Operação e Manutenção de Usinas Hidrelétricas e/ou Setor Energético em geral.

Formação:

- Habilitação Plena de Nível Médio em Eletrotécnica - ETEC (Escola Técnica Estadual) Ilha Solteira - SP.
Conclusão: 2006
- Habilitação Plena de Nível Médio em Informática - ETEC (Escola Técnica Estadual) Ilha Solteira - SP.
Conclusão: 2003

Experiência Profissional:

- 2012 – Atualmente: Dobrevê Energia S.A.

Cargo: **Supervisor do Centro de Operação da Geração**

Local: Centro de Operação da Geração DESA, Curitiba - PR.

Principais Atividades: Supervisão das atividades de Manutenção e Operação em Tempo Real, bem como a execução das atividades de Pré e Pós Operação –Estabelecimento e gestão da rotina diária da equipe da Operação; elaboração, estabelecimento e gestão do Planejamento de Operação e Manutenção Integrados; elaboração de Relatórios Gerenciais com indicadores e dados hidroenergéticos; gestão das atividades de Manutenção no Parque Gerador de propriedade da DESA; incluindo a gestão de estoque e aquisição de equipamentos e materiais de consumo e sobressalentes; interface entre as equipes de campo e Matriz; contato com Agentes Externos; além de outras atividades inerentes à rotina de Pré e Pós Operação.

- 2011 – 2012: Dobrevê Energia S.A.

Cargo: **Operador de COG II**

Local: Centro de Operação da Geração DESA, Curitiba - PR.

Principais Atividades: Supervisão e controle (Tempo real) e auxílio às tarefas de Pré e Pós Operação do parque gerador DESA, composto das PCHs Ludesa, Figueirópolis e Novo Horizonte, com potência instalada total de 70 MW.

- 2009 – 2011: MCQ Eletro Service Ltda.

Cargo: **Técnico em Eletrotécnica III (Supervisor de O&M)**

Local: PCH Figueirópolis – Hidrelétrica com 20 MW instalados, localizada no Rio Jaurú, no município de Indaiavá - MT.

Principais Atividades: Supervisão de Operação e Manutenção - Acompanhamento à construção, montagem eletromecânica e comissionamento; gestão das atividades técnicas e administrativas inerentes à Usina Hidrelétrica em seu período inicial de Operação, realizando a formação da equipe profissional de Operação e Manutenção, planejando, estabelecendo e acompanhando seus processos diários, além da execução das tarefas de Pré e Pós Operação.

- 2008 – 2009: MCQ Eletro Service Ltda.

Cargo: **Mantenedor II**

Local: PCH Ludesma - Hidrelétrica com 30 MW instalados, localizada no Rio Chapecó, no município de São Domingos - SC.

Principais Atividades: Operação e controle (Tempo Real) e execução de manutenções corretivas.

- 2007 – 2008: ENEX O&M.

Cargo: **Mantenedor**

Local: PCH José Gelázio da Rocha e PCH Rondonópolis - Hidrelétricas com 24 e 28 MW instalados, respectivamente, localizadas no Rio Ponte de Pedra, no município de Rondonópolis - MT.

Principais Atividades: Operação e controle (Tempo Real) e execução de manutenções corretivas, além do acompanhamento à construção, montagem eletromecânica e comissionamento.

- 2006 – 2007: ENEX O&M.

Cargo: **Aux. Mantenedor**

Local: PCH José Gelázio da Rocha e PCH Rondonópolis - Hidrelétricas com 24 e 28 MW instalados, respectivamente, localizadas no Rio Ponte de Pedra, no município de Rondonópolis - MT.

Principais Atividades: Operação e controle (Tempo Real) e execução de manutenções corretivas, além do acompanhamento à construção, montagem eletromecânica e comissionamento.

Qualificações e Atividades Complementares:

- Curso de NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.
Carga horária: 40 horas
2010: MCQ Eletro Service
- Curso de NR 33 – Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados.
Carga horária: 40 horas
2010: MCQ Eletro Service.
- Curso de NR 05 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes.
Carga horária: 40 horas
2010: MCQ Eletro Service

- Curso de implantação do software de gerenciamento de manutenção Engeman®.
Carga horária: 40 horas
2008: MCQ Eletro Service.
- Curso de Automação com CLP.
Carga horária: 16 horas
2006: UNESP (Universidade Estadual Paulista) - Departamento de Engenharia Elétrica.
- Estágio nas áreas de Eletrônica Digital e Analógica.
Carga horária: 260 horas
2006: UNESP (Universidade Estadual Paulista) - Departamento de Engenharia Elétrica.
- Estágio em Manutenção de Motores Elétricos.
Carga horária: 200 horas
2006: Palombo's Enrolamentos.
- Estágio em Manutenção de Instalações Elétricas.
Carga horária: 120 horas
2006: ETEC (Escola Técnica Estadual).

Tenho disponibilidade para trabalhar em todas as regiões do Brasil.

Wagner de Souza dos Santos

Endereço: Rua Aécio Martins Antoniacomi n.º 231 casa 4D
Curitiba - PR Cep: 82400-310 Telefone (0xx41) 8476-6077
Correioeletrônico: wagnerderguis@hotmail.com

Objetivo: Atuação na Área de Operação em Usinas Hidroelétricas

Experiência: ***COG - Dobrevê Energia S.A***

Comando e controle, monitoramento remoto de PCH's e Parque Eólicos através de software supervisorio com conexão via satélite com as usinas.
Interface direta com ONS, COS e Distribuidoras.
Supervisão e Coordenação com equipes de manutenção local nas usinas.
Rotinas internas diárias tais como, elaboração de relatórios, registro e arquivo de dados.

(COGS) Brookfield Energia Renovável

Operador de Centro de Operação e Geração do Sistema

Atividades Desempenhadas:

Comando e controle, monitoramento remoto de UHE's e PCH's através de software supervisorio com conexão via satélite com as usinas.
Interface direta com ONS, COS e Distribuidoras.
Supervisão e Coordenação com equipes de manutenção local nas usinas.
Rotinas internas diárias tais como, elaboração de relatórios, registro e arquivo de dados.

Usina AHE Itiquira 156 MW

Pré – Operação

Atividades Desempenhadas:

PDPW (Programa Diário de Produção)
SGI (Sistema de Gestão de Intervenções)
Medição de Faturamento Mensal de Geração
Controle de Registro de Leituras e Cadastro de Liberação de _equipamento para manutenção
Leitura nos Painéis de Instrumentos dos Geradores
Manobra em Comportas
Manobra de Transferências de rede
Inspeção Semanal nas Instalações da AHE Itiquira

Operação em Tempo Real

Atividades Desempenhadas:

Comando e Controle de Geração da AHE e SE Itiquira.

Execução dos serviços de operação da AHE e SE Itiquira, supervisionando e executando o controle de carga e respectivos registros, operando equipamentos e painéis de controle, executando manobras e reparos quando necessários, realizando o controle hidráulico, inspeções, elaboração de relatórios, registrando e arquivando dados.

Comunicação direta com os órgãos reguladores e de controle do sistema elétrico, visando o suprimento contínuo e confiável de energia elétrica através do Sistema Interligado Nacional.

Treinamento: **SDSC** = Sistema Digital Supervisão e Controle
 Hidrologia = Controle Hidráulico
 Serviço Aux. = Serviço Aux. Correspondente a AHE Itiquira
 NR-10=Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade
Extras= Orientação em Segurança no Trabalho e Primeiros Socorros.

Formação: **Técnico em Eletrotécnica**
 Colégio Comercial de Votuporanga
 Votuporanga - SP

Técnico em Processamento de Dados
 Escola Estadual 2º Grau Libero de Almeida Silveiras
 Fernandópolis - SP

Curso Formação de Operadores

Entidade: NNCONSULTORIA

Carga Horária: 44 hs

Conteúdo do Curso:

- Comunicação
- Terminologia/Fraseologia usada no setor elétrico
- Sistema elétrico brasileiro
- Definições da Rede de Operação
- Principais Proteções do sistema
- Manuais de Operação
- Controle Hidráulico
- Hierarquia operacional no sistema
- Restabelecimento do sistema elétrico pós-BLECAUTE
- Atividades de Operadores em uma Usina Hidroelétrica

- Visitas Técnicas a Usina Água Vermelha

TIAGO OLIVEIRA FIALHO CREA: 1407259148 Crea:MG0000114718TD

Nacionalidade: Brasileiro

Estado Civil: Solteiro

Idade: 31 anos

OBS: DISPONIBILIDADE TOTAL PARA ATUAR EM QUALQUER LUGAR DO BRASIL E DO MUNDO COM RESIDENCIA FIXA EM MACAÉ ESTOU EM CURITIBA À TRABALHO APENAS E AGUARDANDO UMA OPORTUNIDADE PARA VOLTAR.

Endereço:

Rua:Professor Guido Straube 518 casa 07

Bairro: Vila Isabel Curitiba -PR

Telefones; (41) 9865-9439 (41)9729-9377

Habilitação:AB

E-mail: tiagokta@hotmail.com ou tiagouhebaguari@gmail.com



FORMAÇÃO

Curso: Engenharia Elétrica

Entidade promotora: universidade Estácio de Sá (Campus – Curitiba)

Duração: 5 anos

Período: cursando

Curso Técnico em Eletromecânica

Entidade promotora: CEFET-MG (Campus – Leopoldina)

Duração: 2 anos

Período: Fevereiro/06 a Dezembro/07

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

1- Técnico Operador de COG (Centro de Operação de Geração) Curitiba -PR

Empresa: DESA Dobrevê Energia SA

Período: 16/07/2012 até a presente data

2- Técnico em operação e Manutenção elétrica e mecânica de Usinas – UHE Baguari (Governador Valadares/MG) (Turbina Kaplan tipo Bulbo)

Empresa: Energisa Soluções

Período: 23/06/2009 até 09/07/2012

3- Técnico em manutenção elétrica
Empresa: Itaipu Binacional (Foz do Iguaçu PR)
Período: 25/02/2008 a 25/05/2009

4- Técnico Mecânico –
Empresa: aurora têxtil (Leopoldina/MG)
Período: 10/08/2007 a 10/02/2008

CURSOS DE APERFEIÇOAMENTO

1. CBSP curso básico de segurança em plataformas

Entidade Promotora: Sampling
Validade: 2014

2. HUET treinamento de escape de aeronave submersa

Entidade Promotora: Sampling
Validade: 2014

3. Normas Regulamentadoras (NR 10)

Entidade Promotora: Energisa Soluções
Duração: 80 Horas básico e complementar

4. Informática Básica (Windows, Word, Power Point, Corel Draw, Excel, Access, Internet Explorer)

Entidade Promotora: Millennium Informática
Duração: 1 ano

5. Inglês (Básico)

Entidade Promotora: Wits
Duração: 1 ano e 6 meses

6. Relés de proteção e controle

Entidade Promotora: AREVA
Duração: 20 HORAS

7. Normas Regulamentadoras (NR 33)

Entidade Promotora: Energisa Soluções
Duração: 16 Horas

8. Normas Regulamentadoras (NR 11)

Entidade Promotora: Energisa Soluções
Duração: 20 Horas

9. Regulador de Velocidade Digital

Entidade Promotora: Voith Hidro Power Generation
Duração: 16 Horas

10. Regulador de Velocidade Hidráulico

Entidade Promotora: Voith Hidro Power Generation
Duração: 16 Horas

11. Turbina Hidráulica Bulbo

Entidade Promotora: Voith Hidro Power Generation
Duração: 16 Horas

12. Sistema de Proteção Contra Incêndios

Entidade Promotora: Engevix
Duração: 16 Horas

13. Gerador Síncrono

Entidade Promotora: Voith Hidro Power Generation
Duração: 16 Horas

14. Eletrohidropneumática

Entidade Promotora: SENAI-MG
Duração: 40 Horas

15. Capacitação Técnica em Exploração de Petróleo e Gás

Entidade Promotora: Microlins
Duração: 81 Horas

16. Operação e Manutenção de Pórtico e Ponte Rolante

Entidade Promotora: Bardella
Duração: 16 Horas

17. Operação de Usinas Hidrelétricas

Entidade Promotora: Energisa Soluções
Duração: 24 Horas

PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NAS EMPRESAS

Técnico em operação e manutenção de usinas

- Manutenção elétrica em geradores diesel de emergência e geradores síncronos;
- Manutenção elétrica em painéis e equipamentos agregados de geradores síncronos;
- Manutenção e implantação de sistemas alimentadores CA e CC;
- Interpretação de diagramas elétricos, mecânicos e hidráulicos;
- Manobras de isolamentos de equipamentos na casa de força, painéis e subestação;
- Execução de procedimentos do ONS (Operador Nacional do Sistema);
- Supervisão da usina através do sistema de supervisão Win-cc;
- Acompanhamento nos testes do comissionamento das unidades geradoras;

- Elaboração de relatórios;
- Análise de gráficos gerados em tempo real;
- Elaboração e preenchimento de planilhas;
- Operação de pórtico e ponte rolante;
- Manutenção em diversos tipos de filtros e trocadores de calor;
- Manutenção em bombas;
- Inspeção diária em todos os equipamentos da casa de força, vertedouro e subestação;

GECIMAR PEREIRA DOS SANTOS FILHO

Brasileiro, solteiro, 25 anos.

DADOS PESSOAIS

Endereço: Av. Vicente Machado, 32-Apto604 Centro Curitiba/PR

Telefone: (41) 9635-8690

E-mail: gecimarpt@hotmail.com e gecimarpt@gmail.com

CNH: A/B

FORMAÇÃO

Técnico em Eletrotécnica– Núcleo Educacional Pitágoras - Ilha Solteira -SP

Duração: 18 meses

Ensino Médio - E. E. S. G Urubupungá - Ilha Solteira/SP

OBJETIVO

Concorrer uma oportunidade de emprego, para exercer conhecimentos adquiridos na área elétrica.

CURSOS DIVERSOS

NR 10 - Normas Regulamentadoras

Dobreve Energia – PCH Figueiropolis

Carga Horária: 40h

Informática básica: Windows, Excel, Word, Power Point, Internet.

Line Informática – Ilha Solteira/SP

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

Estágio Técnico de Eletrotécnica

PX. Fontenelle

Cargo: Estagiário Técnico de Eletrotécnica

Atribuições: Manutenção e Prevenção Corretiva de Motores Monofásicos e Trifásicos,

Manutenção em Quadros Elétricos (Disjuntores, contadoras, reles)

Alameda Vitoria Régia, Quadra 5 Lote 03 Ilha Solteira –SP

Tempo de Estágio 240 horas

American Appraisal / Elektro

Atribuições: Inspeção e reconhecimento de rede primaria, secundaria , bitola de condutores, tipos de poste, cruzetas, estruturas, chave a óleo, transformadores, chave

fusível, seccionadoras, aterramento, estai, banco de capacitores e regulador de tensão

Tempo: 6 Meses

MCQ Eletro Service – PCH Figueirópolis 20MW / Araputanga/MT e PCH Bocaiuva 30MW / Brasnorte/MT

Cargo: Operador Mantenedor.

Atribuições: Operação de PCH e sua respectiva subestação através do reconhecimento dos equipamentos instalados no complexo PCH - SE e sua operação, atender os requisitos da segurança operacional em manobras e interdições das ocorrências e providências operativas em caso de contingências, prestar serviço operacional e de manutenção básica, inspeções dos equipamentos de geração, serviços auxiliares e subestação.

Tempo: 1 Ano

Dobrevê Energia – Curitiba/PR

Cargo: Operador de COG

Atribuições: Executar a operação das usinas teleoperadas pelo COG e atuar com integradas ou não à rede de operação do ONS. Supervisão e controle (Tempo real) e auxílio às tarefas de Pré e Pós Operação do parque gerador DESA, composto das PCHs Ludesa, Figueirópolis e Novo Horizonte, com potência total instalada de 70 MW.

Tempo: Desde 10/2011

Tenho disponibilidade para trabalhar em todas as regiões do Brasil.

DADOS PESSOAIS

Endereço: Rua Nunes Machado, 33, AP 1004, Curitiba - PR

Telefone: (41) 9632-5957 / Recados – (65) 8133-5920

E-mail: meukmps@gmail.com

CNH: A/B

Crea: 2607559510

FORMAÇÃO

Técnico em Eletrotécnica em Dezembro de 2008 – CEETEPS - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula

Souza - ETEC Ilha Solteira Duração: 18 meses

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

[DESA - Dobrevê Energia S.A.](#)

Cargo: Operador de COG (Centro de Operação da Geração)

Atribuições: Operação remota em tempo real de usinas hidrelétricas e suas respectivas subestações através do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC), atendendo as normas de operação e segurança.

Interpretação

das ocorrências e providências operativas em caso de contingências. Receber, analisar, aprovar e preparar os processos de liberações e normalizações de equipamentos e instalações oriundos da manutenção, em caráter programada, de urgência ou emergência. Tratativas operacionais com agentes externos, Cemat e Copel.

Auxílio

nas atividades de Pre e Pós operação.

Período: 10/2011 até a presente data

MCQ Eletro Service – PCH Figueirópolis / Araputanga/MT

Cargo: Mantenedor IV.

Atribuições: Operação da Pequena Central Hidrelétrica Figueirópolis e sua respectiva subestação, atender os

requisitos da segurança operacional em manobras e interdições, interpretação das ocorrências e providências operativas em caso de contingências, prestar serviço operacional e de manutenção básica, inspeções dos

equipamentos de geração, serviços auxiliares e subestação. Análise de ordens de serviços e, liberação ou não,

dependendo das condições operativas, para equipe de manutenção.

Período: 11/2010 à 10/2011

American Appraisal / Elektro

Cargo: Inventariador

Atribuições: Cadastramento de equipamentos elétricos referente à Resolução 367 ANEEL - Controle Patrimonial do

Setor Elétrico, a ser utilizado por concessionárias, permissionárias e autorizadas de energia elétrica.

Período: 09/2010 à 11/2010

Reluz Serviços Elétricos/Prestadora da Enersul – Campo Grande/MS

Cargo: Auxiliar de Técnico em Eletrotécnica

Atribuições: Inspeção Técnica em medidores de energia de grandes consumidores, grupo A e THS, parametrização e instalação de medidores e tele-medição, manutenção em cabines de alta tensão, testes de relação

de TC e medição de corrente e tensão nos componentes elétricos da cabine. Desligamento, aterramento e religamento de rede de 13,8KV e 34,5KV, atendendo todas as normas de segurança estabelecidas.

Período: 07/2009 à 04/2010

Servtec - Serviços Técnicos / Estagio Supervisionado – 240 horas

Cargo: Estagiário.

Atribuições: Realizar Manutenções Preventivas e Corretivas (MPC), com o uso dos EPIs, nos equipamentos: ponte-

rolante, pórtico, motores de CA e CC, ajustes no sistema de drenagem, limpezas em geral em painéis de BT, instalações elétricas em geral envolvendo serviços em alturas em galerias, barragem, vertedouro, sala das UGs e

sala de comando (Usina hidrelétrica de Ilha Solteira).

CURSOS DIVERSOS

Curso de formação de Brigada de primeiros socorros, combate a incêndios e pânico.

Corpo de Bombeiros Militar / MT

Carga Horaria : 16h

NR 10 - Normas Regulamentadoras

MCQ Eletroservice – PCH Figueirópolis

Carga Horária: 40h

NR 10 - Normas Regulamentadoras – (SEP)

GS Eletrotécnica

Carga Horária: 40h

Inspeção Técnica grupo A e THS – Enersul – Inspeção de consumidores grupo A e THS ,programação e parametrização de medidores e telemedição,aterramento e desligamento de rede,teste de relação de TC e medição

em M.T

Informática básica: Windows, Word, Power Point, Corel Draw, Excel, Access, Internet Explorer - Line Informática – Ilha Solteira.